



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG
CENTRO DE EDUCAÇÃO E SAÚDE - CES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS NATURAIS E
BIOTECNOLOGIA – PPGCNBIOTEC

AMÉLIA RUTH NASCIMENTO LIMA

DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA
DE CASCAS DE MARACUJÁ AMARELO (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* O. Deg.)

Cuité - PB

2021

AMÉLIA RUTH NASCIMENTO LIMA

DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA
DE CASCAS DE MARACUJÁ AMARELO (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* O. Deg.)

Dissertação apresentada como requisito obrigatório à obtenção do grau de Mestre em Ciências Naturais e Biotecnologia do Programa de Pós-graduação em Ciências Naturais e Biotecnologia com área de concentração em Biotecnologia Industrial.

Orientador (a): Prof. Dr. Aluizio Freire da Silva
Júnior

Co-orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Vanessa Bordin Viera

Cuité - PB

2021

L732d	Lima, Amélia Ruth Nascimento.
	<p>Descrição do processo de secagem e caracterização físico-química de cascas de maracujá amarelo (<i>Passiflora edulis f. flavicarpa o. deg.</i>). / Amélia Ruth Nascimento Lima. - Cuité, 2021.</p>
	100 f. : il. color.
	<p>Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais e Biotecnologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Educação e Saúde, 2021.</p>
	<p>"Orientação: Prof. Dr. Aluizio Freire da Silva Júnior; Coorientadora: Profa. Dra. Vanessa Bordin Viera".</p>
	Referências.
	<p>1. Maracujá. 2. <i>Passiflora edulis f. flavicarpa o. deg.</i> 3. Maracujá amarelo. 4. Casca de maracujá. 5. Farinha da casca de maracujá. 6. Tecnologia de alimentos. 7. Secagem convectiva. I. Silva Júnior, Aluizio Freire da. II. Viera, Vanessa Bordin. III. Título.</p>
	CDU 634.1(043)

“DESCRIÇÃO DA CINÉTICA DE SECAGEM E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA
DE CASCAS DE MARACUJÁ AMARELO (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*)”

AMÉLIA RUTH NASCIMENTO LIMA

Dissertação Aprovada em 02/08/2021 pela Banca Examinadora constituída dos seguintes
membros:



Dr. Aluizio Freire da Silva Júnior

Orientador

UAFM/CES/UFCG



Dra. Vanessa Bordin Viera

Coorientadora

UAS/CES/UFCG



Dra. Vera Solange de Oliveira Farias

Examinadora Interna

UABQ/CES/UFCG



Dr. Maria Elieidy Gomes de Oliveira

Examinadora Externa

UFPB

Ao meu Deus;
À minha avó Vitorina Esmeraldina do Nascimento,
Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser meu tudo, o autor e consumidor da minha vida, que me ajudou, me ajuda e sempre me ajudará em todas as coisas. Sem Ele nada disso seria possível, pois tudo que conquistei, bem como, o que ainda conquistarei, foi e sempre será por meio Dele.

À minha avó Vitorina Esmeraldina do Nascimento, que é meu maior exemplo, meu anjo da guarda, minha grande inspiração, que dedicou e dedica grande parte do seu tempo em prol do bem estar dos seus netos.

À minha mãe Munic Mohar Nascimento e Santos, e ao meu irmão Glariston Lima da Silva Júnior, que são minha base, meus presentes divinos, aqueles que sempre me apoiam e sei que posso contar a qualquer momento.

Ao meu noivo Willys Dutra Alencar, que há cinco anos vem sendo um ajudador enviado por Deus em minha vida, sempre me motivando e me apoiando em tudo.

Ao meu orientador Aluizio Freire da Silva Júnior, por ter sido tão paciente, atencioso, compreensivo e incentivador, dedicando-se incansavelmente para a construção do nosso trabalho. Ele é um dos meus maiores exemplos, tanto como profissional, quanto como pessoa, um ser humano sem igual. Sou grata a Deus por ter tido o privilégio de ter sido orientada por ele.

À minha co-orientadora Vanessa Bordin Viera, por sua tamanha contribuição para a execução desse trabalho. Uma profissional/amiga excepcional sempre pronta para ajudar e nutrir seus alunos de entusiasmo e luz, além de ser a “rainha da tecnologia dos alimentos”. Uma inspiração.

À professora Vera Solange de Oliveira Farias, por ter estado presente em todas as fases da minha pesquisa. Uma professora/amiga sempre disposta a ajudar, motivar e ensinar seus alunos. Ela é um exemplo de mulher/profissional guerreira, inteligente e dedicada.

À minha amiga-irmã Maria Tereza Lucena Pereira, por ter sido **INDISPENSÁVEL** para o desenvolvimento desse trabalho, bem como, ter dedicado tanto amor, companheirismo, cuidado, alegria e carinho para minha pessoa. Creio que Deus coloca anjos na vida de algumas pessoas, e Tereza, sem dúvidas, foi um anjo enviado por Ele em minha vida. Minha imensa gratidão por tudo.

À professora Maria Elieidy Gomes de Oliveira, por ter aceitado o convite para participar da minha banca e pelas valiosíssimas considerações feitas ao trabalho.

À minha turma (2019.1) – Maria Tereza, Ivânia Samara, Mikael Ribeiro, Rodrigo Ribeiro, Carlos Medeiros, Amanda Costa, Alana Karoline, José Vinícius, Yam Santos,

Henriqueta Monalisa e Letícia Sousa, por ter sido a melhor turma do mundo, cheia de alegria, companheirismo e reciprocidade, esse mestrado foi bem mais leve por ter sido com vocês.

Aos meus amigos Isaac, Marcília, Ivo, Êmyle, Thamires e Geovane, por toda ajuda no desenrolar prático e teórico da minha pesquisa. Gratidão por tudo, amigos!

Ao Carlos Eduardo Dantas, pela ajuda incondicional no que diz respeito à utilização do laboratório de Bromatologia, mostrando-se sempre disponível e paciente para auxiliar-me.

A todos os funcionários da UFCG, por terem sido essenciais para o desenvolvimento do presente estudo.

Ao PPGCN-Biotec, em nome da professora Magnólia Campos, bem como, ao Herbert Henrique e a Midian Matos, pelo apoio e dedicação de sempre.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo fornecimento da bolsa, a qual foi de extrema importância para o financiamento da pesquisa.

A todos que contribuíram de forma direta ou indiretamente para o desenvolvimento da minha pesquisa. Gratidão por tudo!

RESUMO

A presente pesquisa teve como objetivo descrever e otimizar o processo de secagem de cascas de maracujá, secas a 60 e 70 °C, submetidas e não submetidas ao pré-tratamento de branqueamento, bem como, analisar os parâmetros físico-químicos do conteúdo seco (farinhas) e dos produtos elaborados a partir dele (biscoitos tipo *mignon*). Para descrever a cinética de secagem das cascas de maracujá foram utilizados modelos empíricos e uma solução numérica para a equação de difusão (assumindo a geometria de uma parede infinita, bem como, considerando que a difusividade efetiva de massa e a espessura do produto poderiam variar), por meio de dois *softwares* denominados *Lab Fit* e *Infinite Slab Numerical*. Após a realização das secagens convectivas, as amostras foram trituradas até a obtenção de farinhas, as quais foram caracterizadas quanto aos parâmetros de umidade, atividade de água (a_w), acidez, lipídeo e cinzas. A farinha que apresentou melhores características físico-químicas, bem como, menor tempo de processamento, foi utilizada para elaboração de biscoitos tipo *mignon*. Os biscoitos foram caracterizados por meio de análises de umidade, a_w , lipídeo e cinzas. De acordo com os resultados obtidos, foi possível verificar que o teor de umidade de equilíbrio sofreu influência do pré-tratamento de branqueamento para ambas as amostras (60 e 70 °C), enquanto a temperatura de secagem só influenciou o teor de umidade das amostras branqueadas. Em relação ao tempo de secagem, notou-se uma redução de 105 minutos no período total do processo para o tratamento seco a 70 °C com branqueamento. Observou-se uma influência significativa da temperatura e do branqueamento sobre as taxas de secagem. Dentre os modelos empíricos, Page foi eleito o modelo que melhor se ajustou aos dados das secagens. O modelo difusivo se ajustou satisfatoriamente aos dados experimentais, sendo, inclusive, considerado aquele que se adequou de maneira mais eficaz aos dados. Com relação ao coeficiente de transferência convectiva de massa, notou-se influência da temperatura (à medida que a temperatura de secagem aumentou o coeficiente também se elevou). Sobre as cinéticas de secagem, pôde-se perceber que houve uma maior influência da temperatura, quando comparada ao pré-tratamento de branqueamento. Quanto à difusividade efetiva de massa, verificou-se uma diferença significativa nessas difusividades no início do processo. Todas as farinhas obtidas apresentaram satisfatórias características físico-químicas (valores de acordo com as legislações vigentes). A farinha escolhida para a elaboração dos biscoitos tipo *mignon* foi àquela derivada das amostras branqueadas secas a 70 °C, pois apresentou menor tempo de processamento. Os biscoitos também foram considerados físico-quimicamente adequados, apresentando-se como produtos promissores do ponto de vista

biotecnológico, com ampla capacidade de inserção na indústria alimentícia. No geral, notou-se que os modelos utilizados para descrição da cinética de secagem (modelos empírico e uma solução numérica para equação de difusão) se ajustaram satisfatoriamente aos dados experimentais, bem como, tanto as farinhas das cascas de maracujá, quanto os biscoitos tipo *mignon* apresentaram boas características físico-químicas, apresentando-se como produtos promissores do ponto de vista biotecnológico.

Palavras-chave: Secagem convectiva; Modelagem matemática; Solução numérica; Farinha da casca de maracujá; Tecnologia dos alimentos.

ABSTRACT

The present research aimed to describe and optimize the drying process of passion fruit peels, dried at 60 and 70 °C, submitted and not submitted to bleaching pre-treatment, as well as to analyze the physical-chemical parameters of dry content (flours) and products prepared from it (mignon biscuits). To describe the drying kinetics of passion fruit peels, empirical models and a numerical solution were used for the diffusion equation (assuming the geometry of an infinite wall, as well as, considering that the effective diffusivity of mass and thickness of the product could vary), through two softwares called Lab Fit and Infinite Slab Numerical. After convective drying, the samples were crushed until flours were obtained, which were characterized for the parameters of moisture, water activity (a_w), acidity, lipid and ash. The flour that presented the best physical-chemical characteristics, as well as shorter processing time, was used for the preparation of mignon biscuits. The biscuits were characterized by moisture, a_w , lipid and ash analyses. According to the results obtained, it was possible to verify that the equilibrium moisture content was influenced by bleaching pre-treatment for both samples (60 and 70 °C), while the drying temperature only influenced the moisture content of the bleached samples. In relation to drying time, a reduction of 105 minutes was noted in the total process period for dry treatment at 70 °C with bleaching. A significant influence of temperature and bleaching on drying rates was observed. Among the empirical models, Page was chosen the model that best fit the data of the drying. The diffusive model adjusted satisfactorily to the experimental data, and was even considered the one that was more effectively adapted to the data. Regarding the convective mass transfer coefficient, temperature influence was noted (as the drying temperature increased the coefficient also increased). On drying kinetics, it was possible to notice that there was a greater influence of temperature when compared to bleaching pretreatment. Regarding the effective diffusivity of mass, there was a significant difference in these diffusivity at the beginning of the process. All flours obtained presented satisfactory physical-chemical characteristics (values according to current legislation). The flour chosen for the preparation of mignon biscuits was that derived from bleached samples dried at 70 °C, because it presented shorter processing time. The biscuits were also considered physical-chemically adequate, presenting themselves as promising products from the biotechnological point of view, with wide insertion capacity in the food industry. In general, it was noticed that the models used to describe the drying kinetics (empirical models and a numerical solution for diffusion equation) were satisfactorily adjusted to the experimental data, as well as, both the flours of passion fruit bark, and *the*

mignon biscuits presented good physicochemical characteristics, presenting themselves as promising products from the biotechnological point of view.

Keywords: Convective drying; Mathematical modeling; Numerical solution; Passion fruit husk flour; Food technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Anatomia da flor do maracujazeiro.....	22
Figura 2.2 - Morfologia do maracujá amarelo (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i> O. Deg.).....	24
Figura 2.3 - Distribuição das patentes por ano de publicação.....	29
Figura 2.4 - Panorama das patentes por país depositante.....	30
Figura 2.5 - Classificação das patentes depositadas com o termo: <i>Passion fruit peel</i>	31
Figura 2.6 - Classificação Internacional de Patentes (CPI) para o termo: <i>Passion fruit peel</i>	32
Figura 3.1 - Cascas de maracujá após corte e remoção da polpa.....	42
Figura 3.2 - Pré-tratamento de branqueamento: (a) processo de aquecimento; (b) processo de resfriamento.....	43
Figura 3.3 - Fluxograma das etapas de preparo das amostras.....	43
Figura 3.4 - Equipamentos utilizados para realização da secagem convectiva: (a) Estufa de circulação forçada de ar; (b) Cestos de arame galvanizado; (c) Balança semi-analítica; (d) Paquímetro digital.....	44
Figura 3.5 - Interface gráfica do <i>software LAB fit</i>	47
Figura 3.6 - Interface gráfica do <i>software Infinite Slab Numerical</i>	48
Figura 3.7 - Domínio discretizado com um volume de controle interno destacado.....	50
Figura 3.8 - Domínio discretizado com um volume de controle destacado no oeste.....	52
Figura 3.9 - Fluxograma com as etapas para elaboração das farinhas das cascas de maracujá.....	58
Figura 3.10 - Fluxograma com as etapas para elaboração dos biscoitos com farinha das cascas de maracujá.....	60
Figura 4.1 - Curvas do ajuste do modelo de Wang e Singh aos dados experimentais do teor de umidade adimensional em função do tempo em minutos: (a) CMSB 60 °C; (b) CMSB 70 °C.....	67
Figura 4.2 - Curvas do ajuste do modelo de Page aos dados experimentais do teor de umidade adimensional em função do tempo em minutos: (a) CMSB 60 °C; (b) CMCB 60 °C; (c) CMSB 70 °C; (b) CMCB 70 °C.....	68
Figura 4.3 - Taxas de secagem: (a) Taxas de secagem de CMSB 60 °C e CMSB 70 °C; (b)	

	Taxas de secagem de CMCB 60 °C e CMCB 70 °C.....	69
Figura 4.4 -	Evolução do encolhimento das amostras não submetidas ao branqueamento para as temperaturas: (a) 60 °C e (b) 70 °C; Evolução do encolhimento das amostras branqueadas para as temperaturas: (c) 60 °C e (d) 70 °C.....	71
Figura 4.5 -	Adequação do modelo proposto aos dados experimentais para: (a) 60 °C - sem branqueamento, (b) 70 °C - sem branqueamento, (c) 60 °C - com branqueamento, (d) 70 °C - com branqueamento.....	74
Figura 4.6 -	Comparação da cinética de secagem dos quatro casos estudados.....	75
Figura 4.7 -	Comparação da difusividade dos quatro casos estudados.....	76
Figura 4.8 -	Gráficos de contorno (sem escala), com a distribuição de umidade no interior do produto para CMCB 70 °C para os instantes: (a) 27,2 minutos; (b) 120,02 minutos; (c) 5 horas e (d) 8,5 horas.....	77
Figura 4.9 -	Farinhas das cascas de maracujá: (a) FCMSB 60 °C; (b) FCMCB 60 °C; (c) FCMSB 70 °C; (d) FCMCB 70 °C.....	78
Figura 4.10 -	Biscoitos tipo <i>mignon</i> : (a) BMC antes do forneamento; (b) BMC após o forneamento; (c) BM10 antes do forneamento; (d) BM10 após o forneamento; (e) BM20 antes do forneamento; (f) BM20 após o forneamento.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Principais instituições responsáveis pelo desenvolvimento de tecnologias.....	29
Tabela 3.1 - Formulações dos biscoitos tipo <i>mignon</i>	59
Tabela 4.1 - Teor de umidade inicial, teor de umidade de equilíbrio e tempo de secagem de CMCB 60 °C, CMCB 70 °C, CMSB 60 °C e CMSB 70 °C.....	64
Tabela 4.2 - Resultados das simulações das cinéticas de secagem descritas por expressões empíricas.....	65
Tabela 4.3 - Valores dos parâmetros termo-físicos juntamente com suas incertezas.....	73
Tabela 4.4 - Análises físico-químicas das farinhas das cascas de maracujá.....	79
Tabela 4.5 - Análises físico-químicas dos biscoitos tipo <i>mignon</i>	84

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Composição química em 100g de polpa de maracujá em in natura.....	25
Quadro 2.2 - Modelos empíricos utilizados para estimar as curvas de secagem de produtos alimentícios.....	36
Quadro 3.1 - Equações empíricas utilizadas para descrição da cinética de secagem de cascas de maracujá.....	46

LISTA DE SÍMBOLOS

θ - tempo de secagem (s)

k, k_0, k_1 - Constantes de secagem (s⁻¹)

a, b - Coeficientes dos modelos empíricos

q, r - Coeficientes da função que descreve a difusividade efetiva

D - Difusividade efetiva (m² s⁻¹)

X^* - Teor de umidade adimensional

t - Tempo em segundos

m²s⁻¹ - Metros por segundos

RU - Razão de umidade do produto, adimensional

R^2 - Coeficiente de determinação

χ^2 - Qui-quadrado

D_e - Difusividade efetiva de massa na interface leste

D_w - Difusividade efetiva de massa na interface oeste

h - Coeficiente de transferência convectiva de massa

X_e^n - Fluxo de massa por área de unidade

h_e - Coeficiente de transferência convectiva de massa no contorno leste

$X_{\infty e}$ - Teor de umidade de equilíbrio ao longo do limite

CV - Número de volumes de controle da malha

$L(\bar{X}^*)$ - Expressão que descreve o encolhimento do produto

N - Número de volumes de controle

X_i^* - Valor do teor de umidade no volume de controle i

X_P^* - Teor de umidade no ponto nodal do volume de controle interno (P)

X_E^* - Teor de umidade no ponto nodal do volume de controle interno a leste (E)

X_W^* - Teor de umidade no ponto nodal do volume de controle a oeste (W)

X_P^{*0} - Teor de umidade no ponto nodal P no início do intervalo de tempo

N_P - Número de pontos experimentais

E_{rel} - Erro relativo

P_{atual} - Valor do parâmetro na atual interação

$P_{anterior}$ - Valor do parâmetro da interação anterior

\bar{X}_i (bs) - Teor de umidade inicial em base seca

\bar{X}_{eq} (bs) - Teor de umidade de equilíbrio em base seca

T (min) - Tempo em minutos

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA - Análise de Variância Univariada

AT - Acidez Titulável

A_a – Atividade de Água

BMC – Biscoito *Mignon* Sem Adição de Farinha da Casca de Maracujá

BM10 – Biscoito *Mignon* Adicionado de 20% de Farinha da Casca de Maracujá

BM20 – Biscoito *Mignon* Adicionado de 20% de Farinha da Casca de Maracujá

CES – Centro de Educação e Saúde

CMCB 60 °C – Cascas de Maracujá Branqueadas Submetidas à Secagem a 60 °C

CMCB 70 °C – Cascas de Maracujá Branqueadas Submetidas à Secagem a 70 °C

CMSB 60 °C – Cascas de Maracujá Sem Branqueamento Submetidas à Secagem a 60 °C

CMSB 70 °C – Cascas de Maracujá sem Branqueamento Submetidas à Secagem a 70 °C

CPI - Classificação Internacional de Patentes

DQS – Desvio Quadrático Médio

EPO - Escritório Europeu de Patentes

IAL – Instituto Adolf Lutz

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPI - Instituto Nacional de Propriedade Industrial

LABROM – Laboratório de Bromatologia

LATED – Laboratório de Técnica Dietética

LTA – Laboratório de Tecnologia dos Alimentos

MDF - Métodos de Diferenças Finitas

MEF – Métodos de Elementos Finitos

MVF - Métodos de Volumes Finitos

QV – Qualidade de vida

RMF – Resíduo Mineral Fixo

TBCA - Tabela Brasileira de Composição de Alimentos

UFMG – Universidade Federal de Campina Grande

USTPO - Escritório Americano de Marcas e Patentes

WIPO - World Intellectual Property Organization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Justificativa.....	20
1.2 Objetivo geral	21
1.3 Objetivos específicos.....	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 Aspectos gerais do maracujazeiro	22
2.2 Maracujá amarelo (<i>Passiflora edulis</i> f. <i>flavicarpa</i> O. Deg.): características gerais, nutricionais e terapêuticas	23
2.2.1 Potencialidade nutricional e aplicação biotecnológica das cascas de maracujá.....	26
2.3 Estudo e monitoramento da geração de tecnologias utilizando cascas de maracujá amarelo	28
2.4 Aspectos gerais sobre o fenômeno de secagem.....	32
2.4.1 Secagem de matrizes biológicas	33
2.5 Cinética de secagem	35
2.5.1 Cinética de secagem por modelos empíricos.....	36
2.5.2 Cinética de secagem por modelos difusivos.....	37
2.5.2.1 Solução numérica para a equação de difusão	38
3 METODOLOGIA	41
3.1 Local de realização da pesquisa.....	41
3.2 Obtenção da matéria prima.....	41
3.3 Preparação das amostras	41
3.4 Secagem convectiva	43
3.5 Modelagem matemática.....	45
3.5.1 Descrição da cinética de secagem por modelos empíricos.....	46
3.5.1.1 <i>Software Lab fit</i>	46
3.5.2 Descrição da cinética de secagem por modelos difusivos	47
3.5.2.1 <i>Software Infinite Slab Numerical</i>	48
3.5.2.2 <i>Solução numérica: discretização da equação de difusão</i>	49
3.5.2.3 <i>Volume de controle interno</i>	50
3.5.2.4 <i>Volume de controle no contorno leste</i>	52
3.5.2.6 <i>Validação e convergência de solução numérica</i>	55
3.5.2.7 <i>Otimização</i>	56
3.6 Elaboração das farinhas de cascas de maracujá.....	58
3.7 Elaboração dos biscoitos tipo <i>mignon</i>	58

3.8 Análises físico-químicas.....	60
3.8.1 Umidade	60
3.8.2 Cinzas ou Resíduo Mineral Fixo (RMF)	61
3.8.3 Acidez titulável (AT).....	61
3.8.4 Lipídios Totais.....	62
3.8.5 Atividade de água	63
3.8.6 Análise Estatística	63
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
4.1 Dados experimentais da secagem	64
4.2 Modelos empíricos	65
4.2.1 Descrição dos ajustes dos modelos empíricos aos dados experimentais.....	65
4.3 Taxas de secagem	69
4.4 Modelo difusivo.....	70
4.4.1 Distribuição de umidade no interior do produto.....	77
4.5 Processamento das farinhas das cascas de maracujá.....	78
4.5.1 Caracterização físico-química das farinhas das cascas de maracujá	79
4.6 Processamento dos biscoitos tipo <i>mignon</i>	82
4.6.1 Caracterização físico-química dos biscoitos tipo <i>mignon</i>	84
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	87
REFERÊNCIAS	90

1 INTRODUÇÃO

O maracujá (*Passiflora edulis* f. *Flavicarpa* O. Deg) é considerado um fruto com alta capacidade nutricional, considerável atividade funcional, além de favorecer o desenvolvimento econômico do Brasil, se apresentando como uma das frutas mais produzidas, comercializadas e consumidas no país (SILVA et al., 2011; DIAS, 2016). Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2018) o Brasil é responsável por produzir por volta de 602 toneladas do fruto ao ano, beneficiando sobremaneira a economia nacional.

O processamento do maracujá é responsável pela produção de cerca de 52% dos resíduos da indústria produtora de sucos. Estima-se que por volta de 54 mil toneladas de subprodutos são gerados anualmente, e entre os principais resíduos produzidos encontram-se as cascas, que compreendem 45-60% do peso total do fruto (CHEOK et al., 2018).

A casca do maracujá é um componente com relevantes propriedades funcionais, derivadas da sua composição química variada e nutritiva. Os subprodutos do maracujá (cascas) apresentam inúmeros conteúdos fitoquímicos, incluindo alcalóides, flavonoides, triterpenóides e glicosídeos (ANURANGI; SHAMINA, 2018; NERDY; RITARWAN, 2019), apresentando propriedades antimicrobianas (LIMA et al., 2018), anti-inflamatórias e anti-hipertrigliceridêmicas (FERREIRA; SOUZA, 2020), demonstrando assim, sua potencialidade para elaboração de produtos alimentícios.

Devido à expressiva quantidade de resíduos gerados pelo processamento do maracujá, e pelo alto teor de vitaminas, minerais e compostos bioativos contidos nesses subprodutos, surge-se a necessidade da aplicação de tecnologias apropriadas para o seu reaproveitamento (DE BARROS et al., 2015), no intuito de aumentar o valor nutritivo dos produtos processados com o aproveitamento dessas matrizes, minimizar prejuízos econômicos, assim como, reduzir impactos negativos para o meio ambiente, decorrentes do descarte (LEÃO et al., 2017).

Nesse contexto, uma das principais formas tecnológicas para implementação dos subprodutos de frutas na alimentação humana, é através da secagem desses resíduos para obtenção de farinhas, resultando em um ingrediente alimentar rico em compostos nutricionais importantes, pronto para ser incorporado nos mais variados produtos alimentícios (MATIAS et al., 2005), a exemplo de biscoitos.

Diante disso, a descrição da cinética de secagem é de extrema importância para otimizar os processos e para o dimensionamento de equipamentos, auxiliando a entender

melhor aspectos como o tempo necessário para secagem e as temperaturas ótimas de processo, possibilitando estimar o gasto energético, que refletirá no custo de processamento e no preço final do produto (VILELA; ARTUR, 2008).

1.1 Justificativa

Cascas, sementes, talos e folhas, são componentes alimentícios que em sua grande maioria não são utilizados na alimentação humana, no entanto, se apresentam como coprodutos altamente nutritivos, atuando no enriquecimento alimentar e na diminuição do desperdício. Esses resíduos agroindustriais possuem altos valores nutricionais, por muitas das vezes semelhantes ou até mesmo maiores do que a própria polpa da fruta (STORCK et al., 2013). A elaboração de novos produtos alimentícios com base em coprodutos de frutas possibilita uma maneira de ampliar a variedade da indústria alimentícia, por meio da criação de novas receitas, ricas em vitaminas, minerais, lipídios e fibras, responsáveis por inúmeros benefícios à saúde (TOZATTI et al., 2013). Com isso, estratégias viáveis para o aproveitamento desses coprodutos agrícolas são consideradas essenciais para o enriquecimento alimentar e para redução dos prejuízos econômicos e ambientais (derivados do descarte incorreto dos resíduos). Nesse contexto, a desidratação de subprodutos orgânicos vem se apresentando como uma alternativa promissora para sua incorporação em novos produtos alimentícios.

A secagem de subprodutos de frutas envolve a transferência de calor e massa, podendo abranger ainda a transferência de quantidade de movimento (FERREIRA; PENA, 2010). Esse processo se apresenta como uma importante ferramenta para indústria alimentícia, pois favorece a produção de alimentos com maior vida de prateleira, evita a ação de agentes deteriorantes, e garante um produto final de boa qualidade (RUIZ-LÓPEZ et al., 2008; SILVA JÚNIOR; SILVA, 2018).

A secagem de resíduos agrícolas, além de proporcionar certa estabilidade, derivada da diminuição do teor de umidade dos produtos, também possibilita o estudo do tempo de desidratação, bem como, o consumo de energia durante o processo, favorecendo a otimização das condições operacionais, com objetivo de maximizar o aproveitamento energético, reduzir os prejuízos econômicos e evitar as perdas das características nutricionais do alimento, resultando em um produto final de qualidade (SILVA; DUARTE; BARROZO, 2017).

Diante dos inúmeros benefícios nutricionais da utilização de resíduos de frutas, e da

importância de otimizar os processos de secagem desses componentes, a descrição da cinética de secagem dos subprodutos do maracujá e a aplicação desses resíduos na elaboração de novos produtos apresentam-se como uma oportunidade para construção de um trabalho sustentável e inovador (visto que, grande parte dos estudos, até o momento, não considerou os fenômenos de retração e difusividade efetiva como parâmetros variáveis no processo de secagem de cascas de maracujá, bem como, nenhuma informação foi encontrada sobre a propriedade intelectual de biscoitos tipo *mignon* elaborados com farinha de casca de maracujá, demonstrando a singularidade e relevância da presente pesquisa e a possibilidade da elaboração de um produto patenteável).

1.2 Objetivo geral

Otimizar os parâmetros termo físicos do processo e descrever a secagem de cascas de maracujá, bem como, analisar as características físico-químicas do conteúdo seco (farinhas) e dos biscoitos tipo *mignon* elaborados.

1.3 Objetivos específicos

- Realizar experimentos de secagem das cascas de maracujá, com e sem o pré-tratamento de branqueamento, nas temperaturas 60 e 70°C, com o acompanhamento da cinética de secagem e variação da espessura do produto;
- Analisar a variação de volume das cascas durante a secagem;
- Utilizar o programa “*Lab Fit*” para determinar as taxas de secagem e a função que melhor descreve o encolhimento do produto;
- Utilizar o programa “*Infinite Slab Numerical*” para realizar otimizações a fim de obter a melhor expressão para difusividade e o valor ótimo para o coeficiente de transferência convectiva de massa;
- Simular, a partir dos parâmetros ótimos obtidos, a distribuição de umidade no interior do produto durante o processo;
- Analisar a influência da temperatura e do pré-tratamento de branqueamento sobre os parâmetros do processo;
- Elaborar quatro tipos de farinhas de casca do maracujá e caracterizá-las do ponto de vista físico-químico;
- Desenvolver formulações de biscoitos tipo *mignon* com diferentes concentrações

de farinha da casca de maracujá e avaliar físico-quimicamente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos gerais do maracujazeiro

O maracujazeiro pertence à família Passifloraceae, formada por 16 gêneros, sendo o gênero *Passiflora* o mais numeroso entre as espécies. Caracterizadas como plantas trepadeiras, herbáceas ou lenhosas, podem atingir de 5 a 10 metros de comprimento, a maioria de suas espécies apresenta um crescimento vigoroso e contínuo, extenso período de produção, assim como, frutificação ampla, podendo florescer em diversos meses do ano (MELETTI, 2011; EMBRAPA, 2016).

As flores do maracujazeiro também são chamadas de flores da paixão, esse nome se deve a associação da anatomia da flor (descrita na Figura 2.1) com a Paixão de Cristo. No ano de 1610, o historiador Giacomo Bosio associou as estruturas das flores, com alguns elementos da paixão (crucificação) de Jesus Cristo, entre as associações: os três pistilos representam a Santíssima Trindade (Pai, Filho e Espírito Santo); as cinco anteras representam as cinco chagas de Jesus Cristo; os filamentos da corona, a coroa de espinhos; as gavinhas representam os chicotes, e as folhas, as lanças que os soldados usaram para ferir Jesus. Essa associação deu origem ao nome do gênero *Passiflora*, que do latim significa: *passio* (Paixão) e *floris* (flor), de forma que o maracujá também ficou conhecido como Flor da Paixão (EMPRAPA, 2016).

Figura 2.1 – Anatomia da flor do maracujazeiro.



Fonte: Tudo sobre plantas (2020).

O maracujá é o fruto derivado do maracujazeiro, seu nome tem origem tupi-guarani e

significa "alimento que se toma de sorvo" ou "alimento em forma de cuia". Os frutos do maracujazeiro são usualmente bagas indeiscentes, com sementes envolvidas por um arilo de onde se extrai a polpa, sendo aproveitada de várias maneiras pela indústria alimentícia. O maracujá pode ser cultivado em praticamente todas as regiões do Brasil, a faixa de temperatura mais favorável para seu desenvolvimento varia entre 21 e 25 °C. Baixas temperaturas reduzem seu crescimento vegetativo e o potencial produtivo do maracujazeiro, enquanto elevadas temperaturas, especialmente durante a noite, inibem o florescimento dessa espécie (MANIWARA et al., 2014; EMBRAPA, 2016).

O clima tropical é o mais propício para o desenvolvimento do maracujá, salientando que essa cultura não tolera geadas e não pode ser cultivada em locais sujeitos à inundações, pois o teor de água presente no solo é uma das etapas que mais interferem no seu florescimento. Os locais que mais cultivam esse fruto são os países americanos e alguns países europeus, justamente por apresentarem condições climáticas favoráveis para seu desenvolvimento (REIS et al., 2018).

O Brasil é considerado o principal produtor mundial de maracujá (602.651 toneladas produzidas em 2018) contando com a produção de todos os estados brasileiros e o Distrito Federal, sendo a região Nordeste a maior produtora (IBGE, 2018).

Essa elevada produção tem grande importância social na geração de empregos nas diversas áreas da cadeia produtiva, além de ser uma alternativa importante para gerar renda para pequenos, médios e grandes agricultores. O longo período de safra, variando de oito, dez e dozes meses, no Sudeste, Nordeste e Norte, respectivamente, permite um maior e mais equilibrado fluxo de renda mensal que contribui sobremaneira para o aumento dos lucros nas pequenas propriedades rurais. E por se apresentar como uma cultura semiperene, com renovação dos pomares de 2 em 2 anos, favorece significativamente a fixação de mão de obra no meio rural (LIMA et al., 2011).

2.2 Maracujá amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* O. Deg.): características gerais, nutricionais e terapêuticas

O maracujá amarelo apresenta-se em forma de bagas indeiscentes, apresentando formato que varia de arredondado a ovalado, com coloração normalmente amarelada (característica dos frutos maduros). Geralmente suas sementes são comprimidas, pontuadas ou

transversalmente alveoladas (DE OLIVEIRA et al., 2016a). Suas estruturas morfológicas estão descritas na Figura 2.2.

Figura 2.2 – Morfologia do maracujá amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* O. Deg.).



Fonte: Hortiescolha (2017).

O aroma do maracujá possui característica frutada, floral e moderadamente sulfurada. Os ésteres etil butanoato, hexilbutanoato, hexanoato de etila e hexano hexanoato, presentes na sua composição, são os principais fatores que contribuem para o aroma frutado e adocicado característico do maracujá, enquanto os terpenos limoneno, mirceno, *trans*-ocimeno, terpinoleno, linalol e alfa-terpineol são responsáveis pelo aroma floral, já os aldeídos hexanal, octanal e benzaldeído, contribuem para o aroma cítrico do fruto. O estágio de maturação pode influenciar diretamente o aroma do maracujá, e conseqüentemente na sua aceitação, fazendo-se necessário proporcionar um ambiente adequado para que haja o conveniente desenvolvimento do fruto (JANZANTTI; MONTEIRO, 2017).

A polpa do maracujá se apresenta como um componente altamente nutritivo, rico em vitaminas como: o ácido ascórbico (vitamina C), retinol (vitamina A), riboflavina (vitamina B2) e ácido pantoténico (vitamina B5), possui boas quantidades de minerais como ferro, cálcio e fósforo, além de apresentar ácidos graxos poli-insaturados, fibras dietéticas e substâncias polifenólicas (ZERAIK et al., 2010; SILVA et al., 2019a).

A composição química em 100g da polpa do maracujá in natura foi quantificada na Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA) (2019), e encontra-se expressa no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Composição química em 100g de polpa de maracujá em in natura.

Componentes	Valor por 100g
Energia (Kcal)	73
Umidade (g)	82,9
Carboidrato total (g)	12,3
Carboidrato disponível (g)	11,1
Proteína (g)	1,99
Lipídios (g)	2,10
Cinzas (g)	0,79
Cálcio (mg)	5,35
Ferro (mg)	0,56
Sódio (mg)	1,58
Vitamina A (mcg)	108
Vitamina C (mg)	19,8

Fonte: TBCA (2019).

O consumo de frutas ricas em vitaminas e minerais atua auxiliando o organismo na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis como câncer, doenças cardiovasculares, obesidade e diabetes. Diante disso, o maracujá por possuir elevado teor de compostos bioativos, se apresenta como um fruto com alta atividade biológica, demonstrando efeito protetor contra doenças degenerativas e crônicas, atuando como inibidor da mutagênese e carcinogênese, além de estar associado a atividades antivirais, ansiolíticas, antialérgicas, antiplaquetárias e anti-inflamatórias (GONZÁLEZ-GALLEGO et al., 2014; REIS et al., 2018).

No estudo de Gibbert et al. (2017) eles avaliaram o efeito do extrato seco de maracujá na resistência ao estresse (resiliência) e na qualidade de vida (QV) de pacientes que sofriam de inquietação nervosa. A tolerância à suplementação e o curso dos sintomas também foram avaliados. Pacientes adultos com idade inferior a 95 anos, apresentando diagnóstico de inquietação nervosa, foram tratados com extrato seco de maracujá etanólico por 12 semanas. A avaliação dos parâmetros supracitados foi possível através da aplicação de questionários padronizados. Após 12 semanas de tratamento, melhorias significativas foram medidas na resiliência dos pacientes (52,1 a 67,7 pontos) e na QV (47,9 a 75,0 pontos). Os valores médios de todos os sintomas associados (inquietação interior, distúrbios do sono, exaustão, medo,

falta de concentração, transpiração, náusea, tremor e palpitação) melhoraram significativamente ($p < 0,001$), bem como, a tolerabilidade do tratamento foi classificada como 'muito boa' ou 'boa' pela maioria dos pacientes, demonstrando que o extrato de maracujá investigado se mostrou eficaz para melhorar a resiliência e a QV em pacientes que sofrem de inquietação nervosa.

Grosseli et al. (2014) avaliaram a ação da casca e da polpa de maracujá amarelo “in natura” sobre os níveis séricos de colesterol em coelhos com hipercolesterolemia induzida. Os animais foram divididos em três grupos: G1 (controle), G2 (tratado com polpa e semente) e G3 (tratado com cascas). O experimento ocorreu em três fases: na fase 1, os animais receberam água e ração comum, para avaliar os níveis basais de colesterol; na fase 2, todos os grupos receberam ração rica em gordura até o final do experimento, para o desenvolvimento da hipercolesterolemia, e na fase 3, os animais do grupo 2 foram tratados com polpa e semente de maracujá (8 g/Kg), enquanto os do grupo 3 receberam as cascas do maracujá em concentração de 10 g/Kg. Na 1ª fase, a taxa média de colesterol dos coelhos dos três grupos foi de 41,46 mg/dL, na fase 2, os animais de todos os grupos apresentaram elevação no nível de colesterol (aumento de aproximadamente 200%), e na última fase, G2 e G3 demonstraram uma redução significativa nos níveis de colesterol (cerca de 75%), quando comparados ao G1, demonstrando a eficácia da suplementação de cascas, sementes e polpa de maracujá amarelo na redução dos níveis de colesterol plasmático sobre o metabolismo de coelhos com hipercolesterolemia induzida.

Os produtos e subprodutos do maracujá amarelo, além de proporcionarem inúmeros efeitos fisiológicos benéficos para os consumidores, ainda apresentam uma composição físico-química e capacidade antioxidante superior a outras espécies de maracujá, como mostra o estudo de Reis et al. (2018) que ao avaliarem a composição físico-química do maracujá amarelo, identificaram maiores concentrações de pectina (37,37g/100 g) nas cascas e maiores valores de cinzas e fibra alimentar total nas sementes, quando comparado ao maracujá roxo e ao laranja, além de apresentar valores significativos de criptoxantina, α -caroteno, β -caroteno, quercetina e kaempferol em suas polpas.

2.2.1 Potencialidade nutricional e aplicação biotecnológica das cascas de maracujá

A produção e o processamento de frutas geram uma grande quantidade de resíduos, que geralmente são descartados, representando perdas significativas no que diz respeito a aspectos econômicos e nutricionais (SILVA; DUARTE; BARROZO, 2017).

Esses coprodutos (cascas) são excelentes fontes de compostos bioativos, que podem ser utilizados como ingrediente na formulação de novos produtos, como bolos, biscoitos, barra de cereais e afins, incentivando o aproveitamento de alimentos e possibilitando uma dieta mais nutritiva e de baixo custo (REIS et al., 2018).

O maracujá é composto majoritariamente por cascas, podendo chegar a 26,78% de suco, 3,59% de sementes e 69,63% de casca. A casca do maracujá é formada por flavedo (parte amarela) e albedo (parte branca). O flavedo contém grandes quantidades de compostos bioativos, como a luteolina e as fibras alimentares, enquanto o albedo contém um alto teor de niacina, ferro, cálcio e pectina, sendo capazes de atuar na prevenção e no tratamento de doenças como diabetes, hipertensão e obesidade, além de apresentarem amplo uso na indústria de alimentos como agente espessante (OLIVEIRA et al., 2016; DOS SANTOS et al., 2017; SILVA et al., 2019a). Segundo Lopéz-Vargas (2013) a quantidade de fibra alimentar da polpa do maracujá é menor do que a quantidade presente no albedo, apresentando valores de 53,51 g / 100 g e de 71,79 g / 100 g, respectivamente.

A utilização de cascas de maracujá tem sido constantemente estudada na elaboração de farinhas para preparação e enriquecimento nutricional de vários alimentos. A farinha da casca do maracujá amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) é obtida a partir da trituração das cascas do fruto, apresentando elevadas quantidades de nutrientes, em especial a pectina, caracterizada como um tipo de fibra dietética que promove aumento de volume do bolo alimentar e da viscosidade das soluções no trato gastrointestinal, promovendo uma maior saciedade, além de atuar ajudando na redução da absorção glicídica e lipídica, sendo bastante importante na prevenção e tratamento de diversos quadros patológicos (COQUEIRO; PEREIRA; GALANTE, 2016).

Vuolo et al. (2019) avaliaram o efeito da ingestão de farinha de casca de maracujá sobre a peroxidação lipídica, expressão de enzimas antioxidantes e parâmetros inflamatórios no metabolismo de ratos obesos. Para execução da pesquisa, foram utilizados 24 ratos machos, divididos em 3 grupos (8 ratos por grupo), que receberam rações distintas: o grupo controle, recebeu uma dieta padrão, a AIN-93G, o grupo 2, recebeu ração com alto teor de gordura e o terceiro grupo recebeu uma dieta rica em gordura associada a farinha da casca do maracujá. O experimento foi conduzido durante 10 semanas. Após o período de estudo, pôde-

se observar que a ingestão da farinha das cascas de maracujá foi eficaz na redução do ganho de peso corporal (13,31%), na diminuição da peroxidação lipídica no fígado e tecido adiposo, além de atenuar as citocinas inflamatórias presentes no soro dos animais. Outro fator observado foi o aumento significativo na atividade de enzimas antioxidantes como a glutathione peroxidase hepática e a glutathione reductase hepática. Todos esses resultados sugerem que a farinha de casca de maracujá atua como adjuvante no controle de parâmetros precoces na disfunção da obesidade.

No estudo de Goss et al. (2018), foi avaliado o efeito da suplementação da farinha da casca de *Passiflora edulis* sobre a sensibilidade à insulina, adiposidade e parâmetros metabólicos em ratos jovens que receberam bebidas ricas em frutose durante o período de 8 semanas. O grupo que recebeu apenas a bebida enriquecida com açúcar apresentou alta resistência à insulina, aumento dos níveis séricos de triglicerídeos, crescimento de depósitos de gordura no fígado e elevação no diâmetro dos adipócitos, enquanto os animais que receberam a suplementação das cascas de maracujá não apresentaram nenhuma das anormalidades supracitadas, quadro esse que pode ser explicado pelo efeito funcional que a farinha da casca de maracujá exerce sobre o organismo.

Cunha (2018) avaliou o efeito da farinha do albedo do maracujá amarelo no controle glicêmico de pacientes com diabetes do tipo 2. A pesquisa contou com a participação de 54 pessoas submetidas à suplementação de 12 gramas da farinha, três vezes ao dia (antes do café da manhã, almoço e jantar), durante oito semanas. Após o período de intervenção, foi possível observar singelas melhoras do que diz respeito à glicemia, além de efeitos benéficos em parâmetros como: Índice de Massa Corpórea, percentual de gordura, pressão arterial e níveis de triglicerídeos, sustentando a correlação entre o consumo da farinha de casca de maracujá e a diminuição do risco no desenvolvimento de várias doenças.

2.3 Estudo e monitoramento da geração de tecnologias utilizando cascas de maracujá amarelo

Um levantamento no banco de dados PatentInspiration[®], plataforma que permite a pesquisa de informações nos principais bancos de patentes, a exemplo do Escritório Americano de Marcas e Patentes (USTPO), o Escritório Europeu de Patentes (EPO) e o Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), foi realizado pela autora, no ano de 2019, com o intuito de identificar tecnologias que envolvam a utilização de cascas de maracujá.

Foram encontrados 311 documentos de patentes a partir dos termos de busca “*Passiflora edulis*” “*Peel of passiflora edulis*” “*Passion fruit peel*”, no entanto, apenas 113 foram analisados de maneira mais detalhada, pois se apresentaram mais relevantes para o estudo.

No que diz respeito à evolução da produção tecnológica em número de patentes por ano, de acordo com a Figura 2.3, houve uma quantidade significativa de documentos depositados a partir do ano de 2016. Como observado, o ano com maior número de registros de patentes foi o ano de 2018, apresentando 44 registros, enquanto o ano de 2013 apresentou apenas 1, bem como, os anos de 2010 e 2011 não apresentaram nenhum registro.

Figura 2.3 – Distribuição das patentes por ano de publicação.



Fonte: Patentinspiration (2019).

Na Tabela 2.1, a seguir, estão descritas as principais universidades e empresas relacionadas com o desenvolvimento de tecnologias a partir da utilização de casca de *Passiflora edulis* (maracujá), apresentando no mínimo três patentes registradas.

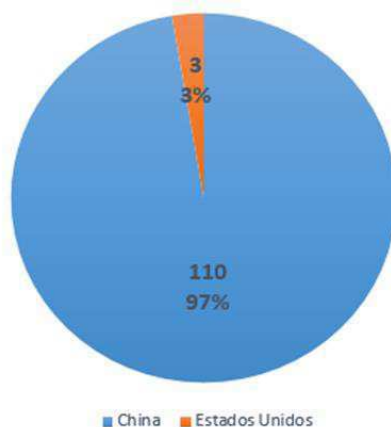
Tabela 2.1 - Principais instituições responsáveis pelo desenvolvimento de tecnologias.

PRINCIPAIS INSTITUIÇÕES	NÚMERO DE PUBLICAÇÕES
Guilin Jieyu Env Pront Science e Tech Co LTD	15
University Guangxi Sci e Technology	3
Ningming Baishikang Biological Eng Co LTD	3
University Guangdong Technology	3

Fonte: Patentinspiration (2019).

Em relação aos países depositantes, como demonstra a Figura 2.4, a China e os Estados Unidos foram os dois países responsáveis pela produção de patentes até a data da pesquisa. Sendo a China o país com maior número de depósitos de patentes relacionadas ao tema, apresentando um total de 97% das tecnologias depositadas, o equivalente a 110 documentos de patentes, enquanto os Estados Unidos se apresentou como o menor depositante, responsável por apenas 3% dos depósitos. Esse resultado vai ao encontro com um estudo de Maziere e et al. (2016) que analisaram o desenvolvimento tecnológico a partir de cascas de banana, e evidenciaram a China como maior depositante de patentes relacionadas ao tema, os autores ainda afirmam que a China se configura como uma das maiores regiões de conhecimento, baseado em informações patentárias, apresentando-se como um país de alta potência para o transbordo de informações tecnológicas.

Figura 2.4 - Panorama das patentes por país depositante.

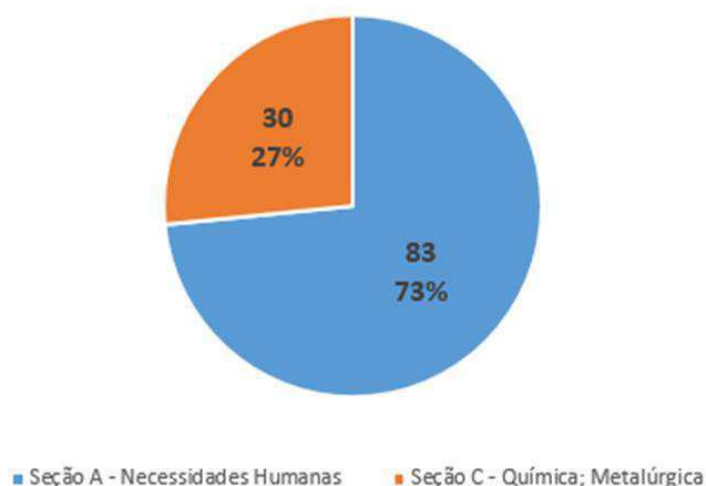


Fonte: Patentinspiration (2019).

De acordo com o World Intellectual Property Organization - WIPO (2019) as tecnologias desenvolvidas com as cascas de *Passiflora edulis* (maracujá) encontram-se dentro da Seção A – Necessidades Humanas e da Seção C – Química; Metalúrgica. Pode-se observar na Figura 2.5, que a seção A é responsável pela maior quantidade de patentes depositadas (73% dos depósitos), comparada com a seção C, com apenas 27%. Essa acentuada produção de patentes com as cascas de maracujá na área de necessidades humanas pode ser justificada com base na constatação de Bezerra et al. (2015) que afirmam que os subprodutos do maracujá estão sendo largamente utilizados para produção de produtos alimentícios devido suas propriedades nutricionais, como por exemplo, sua elevada quantidade de vitaminas e

minerais, ação hipoglicemiante, hipocolesterolêmica, dentre outros atributos importantes para saúde.

Figura 2.5 - Classificação das patentes depositadas com o termo: *Passion fruit peel*.

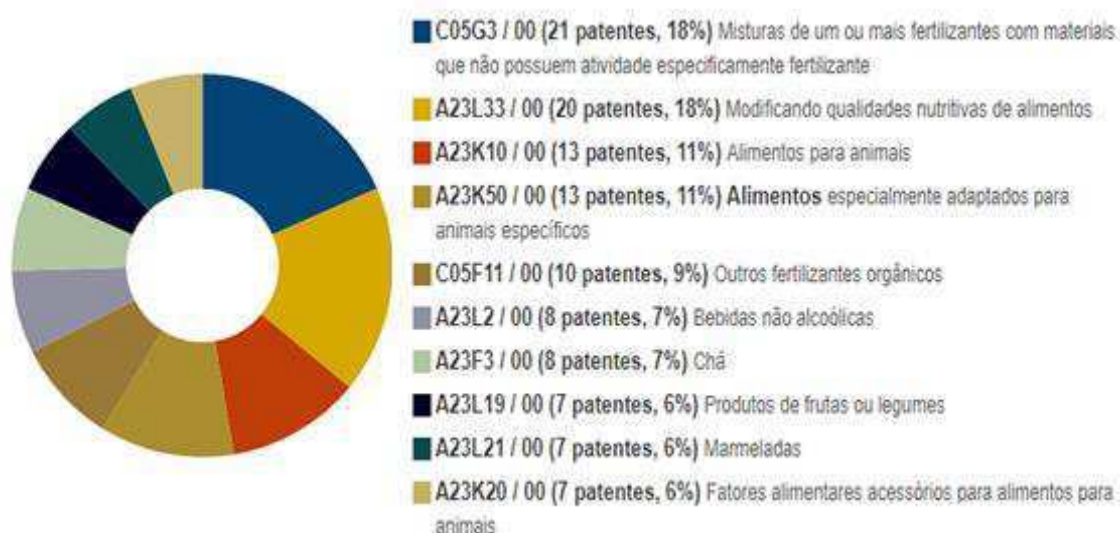


Fonte: Patentinspiration (2019).

As patentes encontradas envolvem principalmente a produção de produtos alimentícios, como é o caso da patente CN109548942A de 2019, que apresenta a casca de maracujá como um importante ingrediente no campo da medicina tradicional chinesa, utilizada na produção de um chá com efeito hipotensor a base de cascas de maracujá e algumas ervas medicinais. Outro exemplo é a patente CN108419881A de 2019, que traz a produção de frutos secos aromatizados a partir de cascas de maracujá, se apresentando como um produto capaz de reduzir a produção de resíduos orgânicos, além de possibilitar para o mercado uma preparação altamente nutritiva.

A respeito das tecnologias desenvolvidas a partir das cascas da *Passiflora edulis*, pode-se observar na Figura 2.6, que dentre as patentes identificadas, grande parte está relacionada à produção de alimentos para humanos, elaboração de bebidas não alcoólicas, desenvolvimento de alimentos para animais, chás, fertilizantes e produtos de frutas. O desenvolvimento de tecnologias nessa área de produção pode ser explicado devido às características nutricionais do fruto, já que os subprodutos do maracujá são altamente ricos em nutrientes como proteínas, lipídios, sais minerais, fibra alimentar e vitaminas.

Figura 2.6 – Classificação Internacional de Patentes (CPI) para o termo: *Passion fruit peel*.



Fonte: Patentinspiration (2019).

Mediante análise realizada no banco de dados Patentinspiration, ficou notório que apesar de existir diversas tecnologias que utilizem as cascas de maracujá no desenvolvimento de uma ampla variedade de produtos, não foi possível identificar patentes que apresentassem a elaboração de biscoitos do tipo *mignon*, ressaltando a importância do presente estudo, que tem grandes chances de resultar em um produto patenteável.

2.4 Aspectos gerais sobre o fenômeno de secagem

A secagem é caracterizada como um processo que envolve a transferência de calor e massa entre o ar de secagem e o produto a ser seco, em que o aumento da temperatura favorece o aumento da pressão parcial de vapor no produto, provocando assim a redução no teor de água (GONELI; DO CARMO; GONÇALVES, 2014).

O processo de secagem pode ser dividido em dois tipos: secagem natural e secagem artificial. A natural é caracterizada pela exposição do produto ao sol e ao vento, possibilitando que o material ceda ao ar uma parte da água em excesso. Essa secagem apresenta algumas limitações, pois não possibilita o controle de parâmetros importantes no processo, como a temperatura, umidade relativa do ar e clima, além de ficar sujeita a fatores imprevisíveis como a ação de insetos e roedores (OETTERER; D'ARCE; SPOTO, 2006; MARTINS et al., 2019).

Já a secagem artificial, é um método de desidratação que permite a remoção de umidade dos produtos por meio de equipamentos como: secadores, liofilizadores, micro-ondas, estufas e afins. Essa secagem permite um maior controle de temperatura, umidade e velocidade do ar durante o processo. Grande parte dos processos de secagem artificial utiliza ar quente para transferência de calor por convecção, no entanto, mecanismos de transferência de calor por radiação e condução também são comuns na indústria alimentícia (CELESTINO, 2010; SILVA, 2016).

Segundo Fioreze (2004) a secagem artificial pode ser dividida em quatro grupos: secagem com ar quente, secagem em contato com superfície quente, secagem a vácuo, e liofilização, descritos detalhadamente a seguir:

a) Secagem com ar quente: Ocorre quando o ar de secagem passa dentro ou sobre o objeto que está sendo seco, vaporizando a água livre para fora do produto.

b) Secagem em contato com superfície quente: Condução da energia de uma superfície quente para o produto, de maneira que a retirada da água ocorre por diferença de densidade.

c) Secagem a vácuo: Produtos são secos em baixa temperatura e baixa pressão, através da utilização de equipamentos específicos, como por exemplo, secadores a vácuo.

d) Liofilização: Processo pelo qual a água livre do produto é congelada e em seguida passa para o estado gasoso, utilizando-se baixas temperaturas de secagem a pressões reduzidas.

Ainda de acordo com Fioreze (2004), várias teorias são utilizadas para detalhar a migração de umidade do interior do produto para a sua superfície, entre elas destacam-se:

- a) A migração por difusão líquida (ocorre devido uma diferença de concentração).
- b) A migração por difusão de vapor (ocorre devido uma diferença de pressão).
- c) A migração por difusão de líquido e vapor, simultaneamente (mudança de estado devido o aumento de temperatura do produto).
- d) A migração por capilaridade (ocorre através do escoamento do líquido do interior para superfície do produto através de pequenos poros, mediante a interação entre o sólido e o líquido).
- e) A migração por capilaridade no estado líquido (ocorre devido ao gradiente de concentração do vapor).

2.4.1 Secagem de matrizes biológicas

A secagem de matrizes biológicas consiste em uma importante fase da cadeia produtiva de alimentos e está diretamente relacionada com a qualidade do produto final. Segundo Martins et al. (2005), no ciclo produtivo, além de proporcionar produtos de qualidade para o mercado, possibilita a análise dos custos do processo, pois a secagem pode atingir até 20% do custo total das atividades relativas ao processamento. Levar em consideração aspectos econômicos no sistema de secagem é de extrema importância, pois o custo final do produto disposto no mercado guarda correlação direta com os gastos durante a etapa de processamento, fazendo-se necessário controlar custos durante o processo para que o preço final do produto seja coerente e acessível à maioria da população (DI DOMENICO; DA SILVA; FERREIRA, 2017).

Desidratar produtos é um dos processos mais utilizados para assegurar sua qualidade e estabilidade, levando em consideração que a diminuição de água do material reduz significativamente atividades biológicas, mudanças nas características físico-químicas, crescimento microbiano, dentre outros aspectos, aumentando sobremaneira a vida de prateleira dos produtos (CORRÊA et al., 2007).

A conservação de alimentos por meio do processo de secagem é fundamental para obtenção de produtos de melhor qualidade e maior vida útil, possibilitando que os alimentos permaneçam disponíveis por maiores períodos durante o ano e em regiões em que não são comuns seu desenvolvimento e cultivo (VIANA, 2019).

Diversas são as vantagens atribuídas ao processo de secagem, entre elas, pode-se destacar a concentração do conteúdo de nutrientes, derivada da retirada da água do produto, facilidade no transporte e comercialização, pois o alimento seco é compacto e mantém algumas das suas características nutricionais inalteradas por longos períodos, economia financeira, pois se apresenta como um processo de baixo custo, além de aumentar a vida útil dos produtos e reduzir as perdas pós-colheitas (CELESTINO, 2010).

Com base nos inúmeros benefícios que a secagem de subprodutos de frutas pode proporcionar, Ayres et al. (2019) realizaram o processo de secagem de cascas de uva a 80°C em secador de leito fixo, e caracterizaram as amostras antes e após o experimento quanto ao teor de umidade. Após a caracterização, verificou-se que a amostra antes do experimento (in natura) apresentou umidade de 83,25%, e logo após a secagem apresentou um teor de umidade de 10,16%. Com isso, concluíram que o baixo percentual de umidade das cascas de uvas (após a secagem), indica que essa matéria prima pode ser utilizada, de acordo com a

legislação, para a fabricação de farinhas e implementação em novos produtos alimentícios, se apresentando como uma boa alternativa para indústria alimentícia.

Outros estudos que envolvem a secagem de produtos biológicos podem ser citados, como a pesquisa de Freitas et al. (2019) que estudaram a cinética de secagem de cascas de maracujá, secas a 55 °C, em estufa de circulação e renovação de ar, e o estudo de Leite et al. (2017) em que analisaram a secagem de cascas de abacaxi em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 75 e 85 °C.

Nota-se que são bastante comuns estudos que analisem a secagem de subprodutos de frutas (cascas e sementes), porém, a maioria dessas pesquisas não leva em consideração aspectos importantes no processo, como por exemplo, o encolhimento do produto (característica essa, considerada no presente estudo). Um exemplo é a pesquisa de Ferreira et al. (2012), que ao avaliarem a secagem do bagaço de uva (30% de semente e o restante de casca) da variedade Isabel (*Vitis labrusca*), secos em secador de camada delgada, com ar aquecido, nas temperaturas de 50, 60, 70, 80 e 90 °C e velocidade de ar de 1,0 m s⁻¹, utilizaram a segunda lei de Fick para descrever o comportamento da secagem, considerando a geometria de placas planas, porém, sem considerar o encolhimento das amostras.

Bezerra et al. (2015) ao analisarem a secagem (em secador convectivo de bandeja) de cascas de maracujá em diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) e velocidades do ar (2,0 e 3,5 m/s), utilizaram uma solução analítica para descrição do comportamento de secagem, considerando a geometria de uma parede infinita, também negligenciaram o encolhimento. Do mesmo modo, Lima et al. (2020), ao avaliarem a secagem de cascas de maracujá em estufa de circulação e renovação de ar, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C, considerando a condição de contorno do terceiro tipo e a geometria de uma parede infinita, negligenciaram a retração da espessura das amostras.

2.5 Cinética de secagem

Diversos modelos matemáticos são utilizados para estudar o processo de secagem de produtos alimentícios. Por meio da cinética de secagem pode-se projetar novos processos, otimizar processos já existentes, selecionar e desenvolver equipamentos adequados para o processamento, calcular custos operacionais, bem como, controlar parâmetros envolvidos na secagem como tempo e temperatura (SOUSA et al., 2017).

2.5.1 Cinética de secagem por modelos empíricos

Para realização de otimizações, determinações de viabilidade e análises dos sistemas relacionados ao processo de secagem, se faz necessário à utilização de simulações matemáticas. E para simular adequadamente um processo, é necessária a utilização de modelos matemáticos que melhor descrevam a situação de um determinado produto, sendo possível realizar medições da secagem, além de analisar a influência de variáveis como velocidade do ar, temperatura e umidade relativa do ar (DI DOMENICO; CONRAD, 2015).

Os modelos empíricos apresentam relação direta entre o conteúdo médio de umidade e o tempo de secagem, levando em consideração condições externas de temperatura e velocidade do ar de secagem. Esses modelos negligenciam os fundamentos do processo de secagem, como a perda de energia e água do interior do produto, e seus parâmetros não apresentam significado físico, mas apesar das suas limitações, em alguns casos, descrevem satisfatoriamente as curvas de secagem para determinadas condições experimentais, na maioria dos casos, situações mais simples (KEEY, 2013).

Diversos modelos empíricos são utilizados para o desenvolvimento de pesquisas, entre eles, encontra-se o modelo de Thompson et al. (1968) e o modelo de Wang & Singh (1978), que são geralmente utilizados nos estudos de secagem de produtos alimentícios. Outros modelos empíricos comumente utilizados estão descritos no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Modelos empíricos utilizados para estimar as curvas de secagem de produtos alimentícios.

Designação do modelo	Modelo
Aproximação da difusão	$RU = a \exp(-k \theta) + (1 - a) \exp(-k b \theta)$
Dois termos	$RU = a \exp(-k \theta) + b \exp(-k_1 \theta)$
Exponencial de dois termos	$RU = a \exp(-k \theta) + (1 - a) \exp(-k a \theta)$
Henderson & Pabis modificado	$RU = a \exp(-k \theta) + b \exp(-k_0 \theta) + c \exp(-k_1 \theta)$
Logarítmico	$RU = a \exp(-k \theta) + c$
Midilli	$RU = a \exp(-k \theta^n) + b \theta \exp(-k \theta^n)$
Page	$RU = a \exp(-k \theta^n)$
Thompson	$RU = \exp\{[-a - (a^2 + 4b \theta)0,5]/2b\}$

Onde: RU – razão de umidade do produto, adimensional; θ : tempo de secagem (s); k, k0, k1: constantes de secagem (s⁻¹); a, b, c: coeficientes dos modelos empíricos.

Fonte: Goneli et al. (2014).

Utilizando alguns dos modelos supracitados, Barros et al. (2020) avaliaram através da modelagem matemática, a cinética de secagem de cascas de kino nas temperaturas de 60, 70, 80 e 90 °C, ajustando os dados experimentais a onze modelos matemáticos (Lewis,

Thompson, Wang e Singh, Page Modificado, Page, Henderson e Pabis, Exponencial de Dois Termos, Logarítmico, Aproximação da Difusão, Dois Termos e Midilli), utilizando como critérios de ajuste o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio quadrático médio (DQM). Ao final do estudo, verificou-se que, com exceção do modelo de Thompson e de Wang e Singh, todos os outros modelos matemáticos apresentaram coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,99 para as temperaturas avaliadas, indicando que tais modelos representam satisfatoriamente o comportamento de secagem de cascas de kino. Desses modelos, destacou-se o modelo de Page e o de Aproximação da Difusão, com $R^2 > 0,999$ e $DQM < 0,091$.

Santos e et al. (2020) analisaram a descrição da cinética de secagem, por meio de modelos empíricos (Lewis, Thompson, Wang e Singh, Page Modificado, Page, Henderson e Pabis, Exponencial de Dois Termos, Logarítmico, Aproximação da Difusão, Dois Termos e Midilli) de cascas de *Citrus paradisi Macf.* (conhecida como toranja) submetidas à secagem em temperaturas de 60, 70, 80 e 90°C em estufa de circulação forçada de ar. O critério de qualidade de ajuste foi analisado com base nos coeficientes de determinação (R^2) e nos desvios quadráticos médios (DQM). Após as análises, observou-se que os modelos de Page, Logarítmico, Aproximação de Difusão e Midilli foram os que melhor descreveram a cinética de secagem de cascas de toranja, apresentando valores de $R^2 > 0,99$ e $DQM < 0,03$, sendo o de Page o que melhor se ajustou aos dados experimentais.

No estudo de De Castro et al. (2017) eles analisaram a cinética de secagem em camada fina da polpa de *Annona squamosa L.* (popularmente conhecida como pinha) nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. A secagem foi conduzida em estufa de circulação e renovação de ar, sendo aplicados quatro modelos matemáticos (Page, Peleg, Henderson e Pabis e Midilli) para descrição do comportamento da cinética de secagem. O critério de avaliação utilizado foi à análise do coeficiente de determinação e do qui-quadrado. Dentre os modelos estudados, o de Peleg foi o que mais se ajustou aos dados experimentais, seguido pelo modelo de Midilli, de Page, e por último o de Henderson e Pabis.

2.5.2 Cinética de secagem por modelos difusivos

Os modelos de difusão são modelos matemáticos que levam em consideração a resistência interna e externa dos produtos analisados, bem como, predizem o teor de umidade no interior do sólido durante qualquer ponto da secagem (SILVA, 2012).

A solução da equação de difusão, muita das vezes requer o estabelecimento de hipóteses para descrição do processo, como por exemplo, a determinação das condições de contorno, a geometria do sólido e aspectos relacionados aos parâmetros termo físicos (SILVA et al., 2013a).

A teoria difusional sustenta-se na lei de Fick, que demonstra que o fluxo de massa por unidade de área correlaciona-se diretamente com o gradiente de concentração de água (OLIVEIRA; OLIVEIRA; PARK, 2006). Através da utilização da lei de Fick na equação de balanço de massa de água no interior do produto, obtém-se:

$$\frac{\partial X^*}{\partial t} = \Delta (D \nabla X^*) \quad (1)$$

onde:

D - difusividade efetiva de massa, $m^2 s^{-1}$;

X - teor de umidade adimensional médio;

t – tempo em segundos.

Entre os tipos de solução de uma equação diferencial, encontram-se as soluções analíticas e as soluções numéricas. A solução analítica apresenta-se como uma ferramenta importante para a modelagem matemática, pois é considerado um domínio contínuo, em que a variável de interesse é conhecida em qualquer ponto deste domínio e em qualquer instante de tempo, além de requerer um menor esforço computacional (BORGES, 2016). Em situações mais complexas, as soluções analíticas apresentam algumas restrições, mas, apesar das suas limitações, às mesmas são amplamente utilizadas e não devem ser descartadas, tendo uma de suas principais aplicações, a validação das soluções numéricas (SAYKOVA; CWICKLINSKI; CASTELLE, 2009). As soluções numéricas serão explicadas mais detalhadamente, a seguir, por se apresentarem como as soluções utilizadas no presente estudo.

2.5.2.1 Solução numérica para a equação de difusão

Os métodos numéricos apresentam vasta aplicabilidade, sendo bastante utilizados desde situações físicas mais simples, nas quais as formas geométricas têm alto grau de simetria, como cilindros infinitos e finitos, esferas e placas planas, como para formas

geométricas mais complexas, com volume e difusividade de massa variável, meios heterogêneos e anisotrópicos (FARIAS, 2011; PINHEIRO, 2017).

É possível identificar várias vantagens da solução numérica em comparação à analítica, entre elas, a possibilidade de aproximação do modelo objeto de estudo para condições físicas reais. Em situações que a representação matemática do problema requer equações não lineares ou a utilização de geometrias complexas, a solução analítica se torna bastante complexa e de difícil obtenção. Desse modo, nos últimos anos, o desenvolvimento de métodos numéricos se tornou cada vez mais frequente e tem sido um dos principais objetivos dos pesquisadores (BORGES, 2016).

Entre os métodos numéricos de solução de equações diferenciais, existem os Métodos de Elementos Finitos (MEF), Métodos de Diferenças Finitas (MDF) e Métodos de Volumes Finitos (MVF). O MDF consiste em uma divisão discreta do domínio, e na substituição das derivadas parciais por aproximações numéricas. O MEF consiste em dividir o domínio de integração em um número finito de pequenas regiões denominadas elementos finitos. Já o MVF consiste em dividir o domínio físico, sob estudo, em um número finito de subdomínios de volumes elementares denominados volumes de controle (MALISKA, 2012).

Devido à vasta aplicabilidade e funcionalidade das soluções numéricas, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos utilizando essas soluções para resolução da equação de difusão, entre eles, pode-se citar a pesquisa de Costa et al. (2011), que estudaram o processo de secagem das sementes de crambe (*Crambe abyssinica*), em diferentes temperaturas (30, 40, 50, 60 e 70 °C) e diversas condições de umidade relativa de ar (37,4; 22,3; 14,0; 8,3 e 5,1%), bem como, determinaram o coeficiente de difusão efetiva dos tratamentos. Ao final do experimento, observaram uma relação diretamente proporcional entre a temperatura e a difusividade efetiva, constatando que o coeficiente de difusão efetivo aumentou com a elevação da temperatura apresentando valores de $0,88 \times 10^{-11}$; $1,99 \times 10^{-11}$; $2,90 \times 10^{-11}$; $3,48 \times 10^{-11}$ e $5,85 \times 10^{-11} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, para as temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

Aires (2015) estudou o processo de desidratação osmótica de goiaba e de maçã, e secagem convectiva complementar de maçã, através de modelos difusivos, admitindo parâmetros de processos variáveis e considerando o encolhimento inerente aos processos, apresentando soluções numéricas das equações de difusão unidimensional e bidimensional, em coordenadas cartesianas, com condição de contorno do terceiro tipo, obtidas através do método de volumes finitos com uma formulação totalmente implícita. Após análise, pode-se constatar que os modelos difusivos propostos para o estudo, especialmente os bidimensionais,

mostraram-se adequados para a simulação e estimativa dos parâmetros do processo relativos a esse experimento.

Sousa et al. (2017) ao avaliarem a cinética de secagem da polpa de pequi em diferentes condições de temperatura (50, 60, 70 e 80 °C), velocidade do ar de 1,0 m/s⁻¹ e umidade relativa do ar de secagem de 20, 13, 8 e 5%, respectivamente, utilizando a segunda lei de Fick (considerando a geometria de uma placa plana) para determinação da difusividade efetiva, observaram que os valores de difusividade variaram de 0,93 x 10⁻⁸ a 3,93 x 10⁻⁸ m² s⁻¹ para as temperaturas estudadas, apontando uma tendência de aumento da difusividade efetiva com o aumento da temperatura.

Semelhante aos estudos supracitados, Araújo et al. (2017) ao ajustarem modelos matemáticos aos dados experimentais da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada, submetidos à secagem em diferentes temperaturas (40, 50, 60 e 70 °C), calcularam o coeficiente de difusão efetiva dos frutos por meio da solução analítica para a segunda lei de Fick, considerando a forma geométrica esférica, e também obtiveram a informação que o coeficiente de difusão efetiva aumenta com a elevação da temperatura.

3 METODOLOGIA

3.1 Local de realização da pesquisa

Os experimentos foram realizados nos Laboratórios de Técnica Dietética (LATED), Tecnologia dos Alimentos (LTA) e Bromatologia (LABROM) do Centro de Educação e Saúde (CES) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) *Campus Cuité-PB*.

3.2 Obtenção da matéria prima

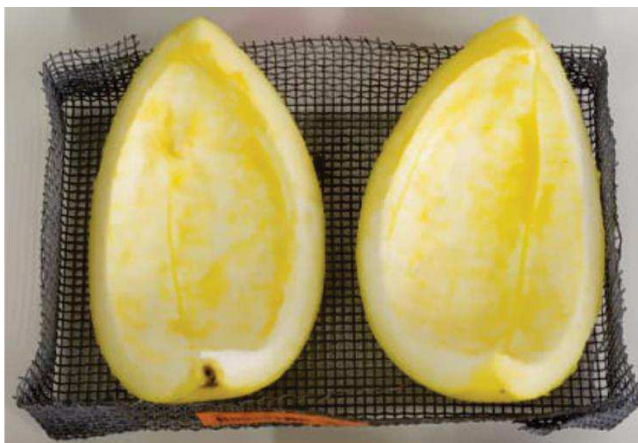
Os maracujás (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) foram adquiridos na feira livre do município de Cuité-PB (Latitude: 6° 28' 54" Sul, Longitude: 36° 8' 59" Oeste). As frutas foram selecionadas considerando a ausência de danos mecânicos, grau de maturação adequado e integridade fisiológica mantida.

Os ingredientes para elaboração dos biscoitos tipo *mignon* foram obtidos no comércio local do município de Campina Grande-PB (Latitude: 7° 13' 51" Sul, Longitude: 35° 52' 54" Oeste).

3.3 Preparação das amostras

Os maracujás foram lavados em água corrente e higienizados com a utilização de solução clorada a 200 ppm durante 15 minutos. Logo após, procedeu-se dois cortes longitudinais nas amostras (dividindo cada um dos maracujás em quatro partes semelhantes), e a polpa foi separada das cascas com o auxílio de uma colher. Após os cortes e o despulpamento, as cascas apresentaram, em média, 8,21 mm de espessura, 90,51 mm de comprimento e 131,20 mm de altura (Figura 3.1).

Figura 3.1 – Cascas de maracujá após corte e remoção da polpa.



Fonte: Autoria própria (2020).

A pesquisa foi realizada utilizando 4 tratamentos reproduzidos em triplicata: CMCB 60 °C – cascas de maracujá, que passaram pelo processo de branqueamento submetidas a secagem a 60 °C; CMSB 60 °C – cascas de maracujá sem branqueamento, submetidas à secagem a 60 °C; CMCB 70 °C – cascas de maracujá que passaram pelo processo de branqueamento, submetidas à secagem a 70 °C; CMSB 70 °C – cascas de maracujá sem branqueamento, submetidas à secagem a 70 °C.

Os tratamentos CMCB 60 °C e CMCB 70 °C passaram pelo processo de branqueamento, caracterizado como um tratamento térmico que utiliza temperaturas entre 70 e 100 °C em tempos que variam entre 1 a 5 minutos, com posterior resfriamento, no intuito de reduzir a atividade enzimática (evitando situações como o escurecimento enzimático), diminuir as cargas microbianas dos produtos agrícolas, além de auxiliar na manutenção de características sensoriais e físico-químicas dos alimentos (VASCONCELO; FILHO, 2016).

No presente estudo, o branqueamento ocorreu da seguinte forma: as cascas foram submersas em água fervente a 97 °C (aferição realizada com auxílio de um termômetro digital) onde permaneceram nessa condição durante 5 minutos, seguindo de resfriamento em água com gelo no período de 1 minuto. Na Figura 3.2 é apresentado mais detalhadamente esse processo.

Figura 3.2 – Pré-tratamento de branqueamento: (a) processo de aquecimento; (b) processo de resfriamento.



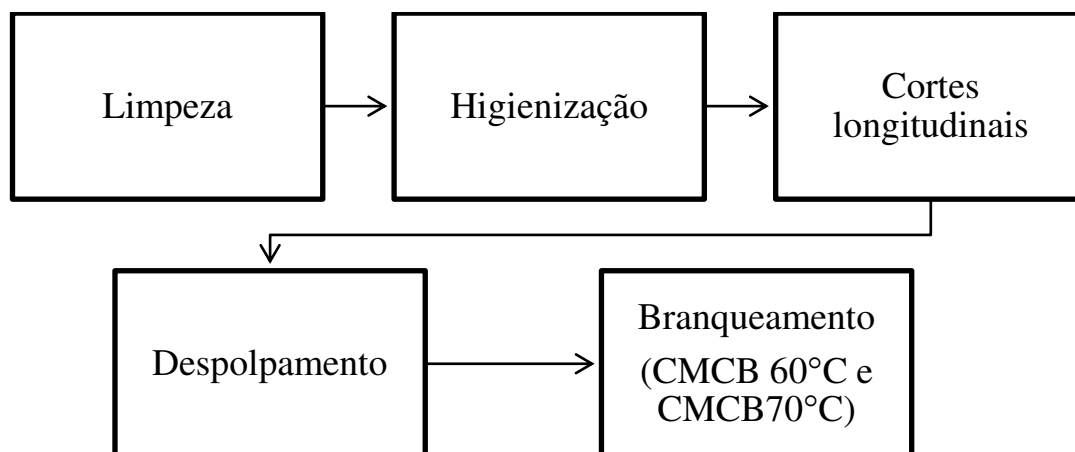
(a)

(b)

Fonte: Autoria própria (2020).

As etapas para preparação das amostras estão descritas de forma detalhada na Figura 3.3, a seguir.

Figura 3.3 – Fluxograma das etapas de preparo das amostras.



Fonte: Autoria própria (2020).

3.4 Secagem convectiva

Após passarem pelas etapas descritas nos tópicos 3.2 e 3.3, as amostras seguiram para o processo de secagem convectiva, que aconteceu em estufa com circulação e renovação forçada de ar da marca BIOPAR, modelo S4800AD (Figura 3.4a).

Para cada tratamento foram utilizados cestos de arame galvanizado (Figura 3.4b) devidamente pesados em balança semi-analítica da marca RADWAG, modelo WTB 2000, com precisão de leitura de 0,01 g (Figura 3.4c). Seis cestos foram utilizados para o experimento, três deles contendo 2/4 de cascas de maracujá por cesto (destinados ao estudo da variação da massa), e os outros três contendo 1/4 de casca de maracujá (destinados à aferição da espessura).

Após as pesagens e aferições iniciais, as amostras foram destinadas a secagem em estufa com circulação forçada de ar nas temperaturas de 60 °C e 70 °C. As análises da variação de massa e espessura aconteceram simultaneamente nos intervalos de tempos de 0, 2, 5, 10, 20, 30, 60 e 120 minutos, em que, a cada intervalo as amostras, em triplicata, foram retiradas da estufa, pesadas em balança digital semi-analítica e tiveram suas espessuras medidas por meio um paquímetro digital da marca Stainless Hardened, apresentando faixa de medição mínima e máxima de 0,1 mm e 150 mm, respectivamente (Figura 3.4d).

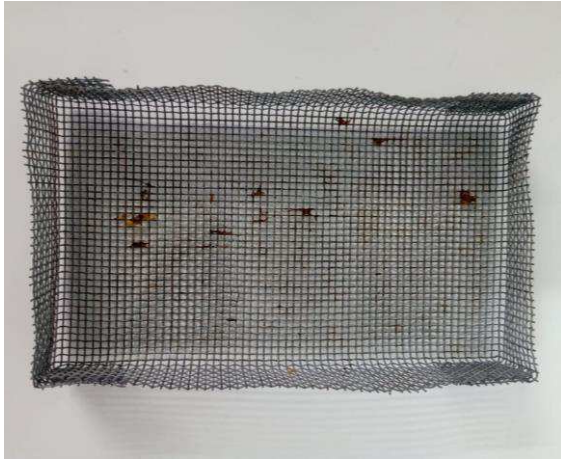
O processo foi mantido até que as amostras atingissem o teor de umidade de equilíbrio e tivessem suas espessuras estabilizadas.

Figura 3.4 – Equipamentos utilizados para realização da secagem convectiva: (a) Estufa de circulação forçada de ar; (b) Cestos de arame galvanizado; (c) Balança semi-analítica; (d) Paquímetro digital.



(a)

Continua...



(b)



(c)



(d)

Fonte: Autoria própria (2020)

3.5 Modelagem matemática

Para descrever a cinética de secagem das cascas de maracujá, foram utilizados modelos empíricos e uma solução numérica para a equação de difusão por meio de dois *softwares* denominados de *Lab Fit* (SILVA; SILVA, 2009) e *Infinite Slab Numerical*, respectivamente. A modelagem matemática foi empregada a partir dos dados experimentais, referentes à secagem (dados do encolhimento e da massa).

O *Lab Fit* foi utilizado para a obtenção das taxas de secagem e dos melhores modelos para descrever a variação de volume do produto, levando em consideração o encolhimento das amostras.

A solução numérica para a equação de difusão foi utilizada através do *software Infinite Slab Numerical*. Esse *software* permite a obtenção das cinéticas de secagem considerando o encolhimento das amostras das cascas de maracujá e a variação de difusividade. Também foi verificada a melhor expressão para a difusividade de massa e a distribuição de umidade no

interior do produto para diversos intervalos de tempo.

3.5.1 Descrição da cinética de secagem por modelos empíricos

Os modelos empíricos são métodos de abordagem com base em dados experimentais, apresentando uma correlação direta entre o teor de umidade médio e o tempo de secagem. No geral, descrevem bem a cinética de secagem, porém apresentam algumas limitações, como a não observação da distribuição de umidade no interior do produto em instantes de tempos definidos, impossibilitando a visualização das regiões do produto com maiores conteúdos de umidade, e conseqüentemente dificultando o controle das condições de secagem (SILVA, 2013).

Para a descrição da cinética de secagem das cascas de maracujá, foram utilizadas 6 equações empíricas (expressas no Quadro 3.1) submetidas ao *software Lab Fit* para a obtenção do melhor modelo de descrição da cinética de secagem.

Quadro 3.1 – Equações empíricas utilizadas para descrição da cinética de secagem de cascas de maracujá.

Modelo	Designação do modelo	Equação empírica	Referência
1	Page	$X^*=e^{-atb}$	Page (1949)
2	Lewis	$X^*=e^{-at}$	Kaletka e Górnicki (2010)
3	Peleg	$X^*=1-t/(a+bt)$	Peleg (1988)
4	Silva et alii	$X^*=e^{-at-b\sqrt{t}}$	Silva et al. (2012)
5	Henderson e Pabis	$X^*=ae^{-bt}$	Henderson e Pabis (1961)
6	Wang e Singh	$X^*=1+at+bt^2$	Wang e Singh (1978)

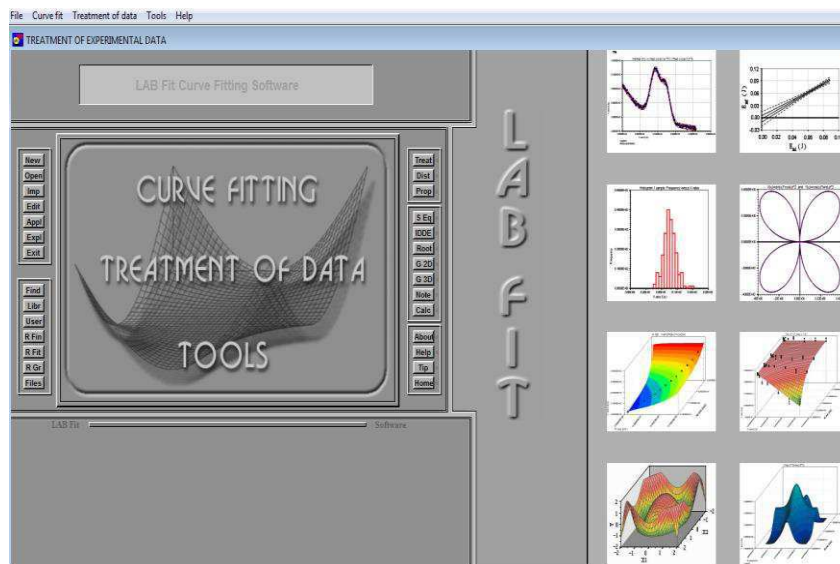
Utilizou-se o coeficiente de determinação (R^2) e o Qui-quadrado (χ^2) para avaliar o melhor ajuste aos dados experimentais, levando em consideração que os melhores valores são aqueles que apresentam menor χ^2 e R^2 mais próximo de 1.

3.5.1.1 Software Lab fit

O *software Lab fit* é um programa computacional que apresenta uma interface bastante simples e dinâmica, e é utilizado para tratamento de dados experimentais, possibilitando o acesso a informações como: taxas de secagem e funções que melhor descrevem o

encolhimento do produto. A representação da sua interface gráfica está exposta na Figura 3.5.

Figura 3.5 – Interface gráfica do software *Lab fit*.



Fonte: *Lab fit* (2020).

Para o início do processo de ajuste de curvas, foi aberto o menu “*New*” e após clicar na opção “*Paste*”, os dados experimentais (tempo de secagem em minutos, e teor de umidade, em colunas paralelas), foram inseridos no programa, seguido de três cliques na opção “*OK*”. Outra alternativa para a inserção dos dados no programa, está disposta no menu “*Open*”, que ao clicar direciona o usuário a busca do arquivo com os dados de interesse nos próprios arquivos do computador.

Após a inserção dos dados, clica-se na opção “*User*” e insere-se a expressão empírica em estudo, bem como, indica-se a quantidade de parâmetros de acordo com o modelo escolhido, seguindo de dois cliques na opção “*OK*”, e um clique na opção “*Fit*”. Depois dessas etapas, o programa disponibilizará os resultados da otimização em formato “*txt*” (mediante um clique na opção “*Details*”), bem como, apresentará o resultado gráfico, após o clique na opção “*Graph*”, seguida da opção “*Graph 2 D*”.

3.5.2 Descrição da cinética de secagem por modelos difusivos

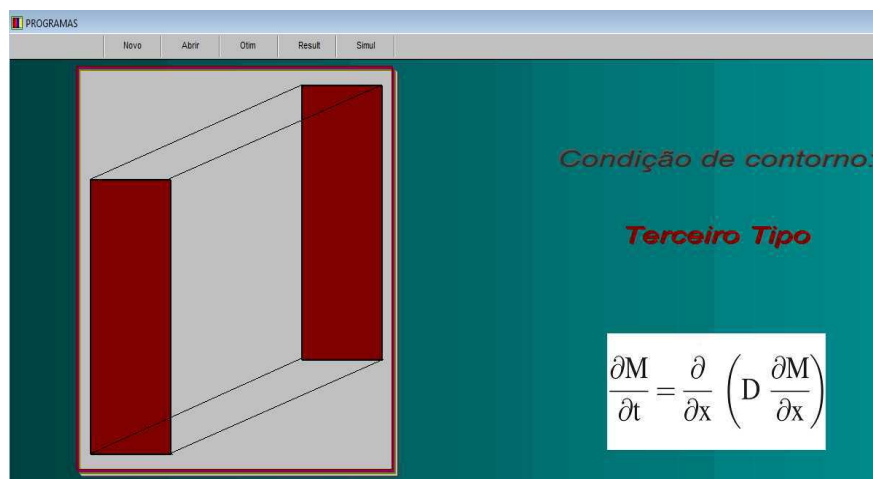
Dois tipos de ferramentas são utilizadas para resolução de equações diferenciais, as soluções analíticas e as soluções numéricas. As soluções analíticas fornecem valores exatos das variáveis de interesse em qualquer ponto e em qualquer período de tempo, porém, em

casos mais complexos, como a consideração da variação dos parâmetros físicos ou a variação das dimensões do material, ainda não há soluções analíticas para esses fins. Nesses casos, se faz necessário utilizar-se soluções numéricas (utilizadas no presente estudo), pois são ferramentas que possibilitam uma abordagem mais complexa do problema (SILVA JÚNIOR, 2015).

3.5.2.1 Software *Infinite Slab Numerical*

A solução numérica para a equação de difusão foi utilizada através do *software Infinite Slab Numerical*, desenvolvido no intuito de simular e otimizar os processos de secagem para geometria de uma parede infinita. A Figura 3.6 demonstra a representação gráfica da interface do *software* em questão.

Figura 3.6 – Interface gráfica do *software Infinite Slab Numerical*.



Fonte: *Infinite Slab Numerical* (2020).

Esse *software* apresenta uma interface gráfica bastante autoexplicativa. Para a realização das otimizações do processo de secagem por meio do *Infinite Slab Numerical*, se faz necessário inserir o conjunto de dados experimentais (tempo e teor de umidade) na aba “Novo”, e em seguida, clicar em “Otim” para prosseguir com o processo. Após selecionar “Otim”, uma aba para preenchimento de dados será aberta e deve ser preenchida com informações como: expressão para espessura, volumes de controle (em quantas partes a malha será dividida) e “steps” de tempo (divisão do tempo total do processo em instantes iguais), logo após esse preenchimento, clica-se em "OK". Em seguida, uma nova aba será aberta com a apresentação de trinta (30) funções para a difusividade, em que a grandeza de interesse é

representada pela letra "x". Nessa aba, deve-se selecionar uma das funções, clicar em “OK” e aguardar uma nova caixa de diálogo. Para o preenchimento da nova aba, é necessário supor valores iniciais para os parâmetros "q" e "r", bem como, o valor do coeficiente convectivo (h). Após isso, o processo de otimização é iniciado e os resultados são expressos para posteriores análises.

3.5.2.2 Solução numérica: discretização da equação de difusão

A equação da difusão de massa é expressa como:

$$\frac{\partial X^*}{\partial t} = \nabla \cdot (D \nabla X^*), \quad (2)$$

onde X^* é o teor de umidade adimensional médio, D é a difusividade efetiva da massa (m^2s^{-1}) e t é o tempo em segundos.

Assumindo a geometria de uma parede infinita, onde x representa a posição na placa, a Eq. (2) pode ser simplificada como:

$$\frac{\partial X^*}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial X^*}{\partial x} \right). \quad (3)$$

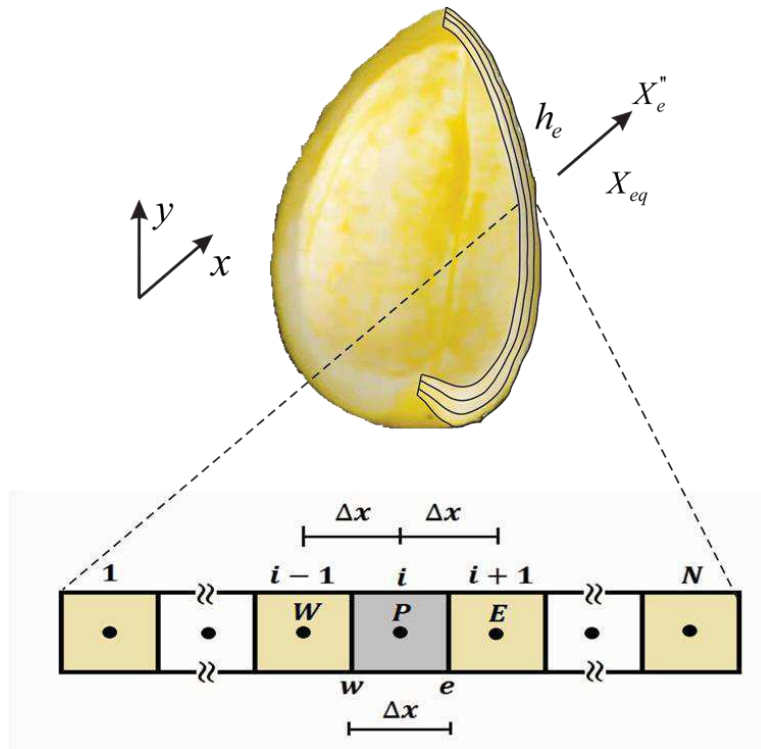
Para obter a solução numérica para a Eq. (3) foram aceitas as seguintes hipóteses:

- O único mecanismo de transferência de massa é a difusão líquida;
- O produto é considerado homogêneo e isotrópico;
- A distribuição de água dentro do produto no início do processo é uniforme;
- O coeficiente de transferência convectiva de massa permanece constante durante a secagem;
- A difusividade efetiva de massa e a espessura do material podem variar durante o processo de secagem;

A solução numérica foi desenvolvida utilizando o método dos volumes finitos, com uma formulação totalmente implícita (PATANKAR, 1980; SILVA et al., 2015). O domínio

unidimensional foi dividido em N volumes de controle, como mostrado na Figura 3.7. Também nesta figura é possível observar a discretização do domínio unidimensional destacando um dos volumes de controle interno com o ponto nodal P e seus vizinhos a leste (E) e oeste (W).

Figura 3.7 - Domínio discretizado com um volume de controle interno destacado.



Fonte: Autoria própria (2020).

3.5.2.3 Volume de controle interno

Para integrar a Eq. (3) para um volume de controle no espaço Δx e tempo Δt , presume-se que o teor de umidade em todos os pontos do volume de controle interno é constante e igual ao valor em seu respectivo ponto nodal.

$$\int_t^{t+\Delta t} \int_w^e \frac{\partial X^*}{\partial t} dx dt = \int_t^{t+\Delta t} \int_w^e \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial X^*}{\partial x} \right) dx dt, \quad (4)$$

As derivadas na Eq. (3) podem ser aproximadas da seguinte forma:

$$\frac{\partial X^*}{\partial t} = \frac{X_p^* - X_p^{*0}}{\Delta t} e \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial X^*}{\partial x} \right) = \frac{D \frac{\partial X^*}{\partial x} \Big|_e - D \frac{\partial X^*}{\partial x} \Big|_w}{\Delta x}, \quad (5)$$

onde:

$$\frac{\partial X^*}{\partial x} \Big|_e = \frac{X_E^* - X_P^*}{\Delta x} e \frac{\partial X^*}{\partial x} \Big|_w = \frac{X_P^* - X_W^*}{\Delta x}. \quad (6)$$

As integrais definidas no espaço Δx e tempo Δt (domínio discreto) são dadas por:

$$\int_t^{t+\Delta t} dt = \Delta t \text{ e } \int_w^e dx = \Delta x. \quad (7)$$

Substituindo as aproximações das derivadas e as integrais expressas nas Eqs. (5) - (7) na Eq. (4) produz:

$$\frac{(X_p^* - X_p^{*0})}{\Delta t} \Delta x \Delta t = \frac{D_e (X_E^* - X_P^*) - D_w (X_P^* - X_W^*)}{(\Delta x)^2} \Delta x \Delta t, \quad (8)$$

onde X_P^* , X_E^* e X_W^* , representam o teor de umidade nos pontos nodais dos volumes de controle interno (P) e seus vizinhos a leste (E) e a oeste (W), respectivamente, calculados no final do intervalo de tempo; D_e e D_w são os valores da difusividade efetiva de massa nas interfaces leste e oeste, respectivamente; e X_p^{*0} é o teor de umidade no ponto nodal P no início do intervalo de tempo.

Organizando os termos semelhantes a Eq. (8) leva para:

$$A_p X_p^* = A_e X_E^* + A_w X_W^* + B, \quad (9)$$

onde:

$$A_p = \frac{\Delta x}{\Delta t} + \frac{D_e}{\Delta x} + \frac{D_w}{\Delta x},$$

$$A_e = \frac{D_e}{\Delta x}$$

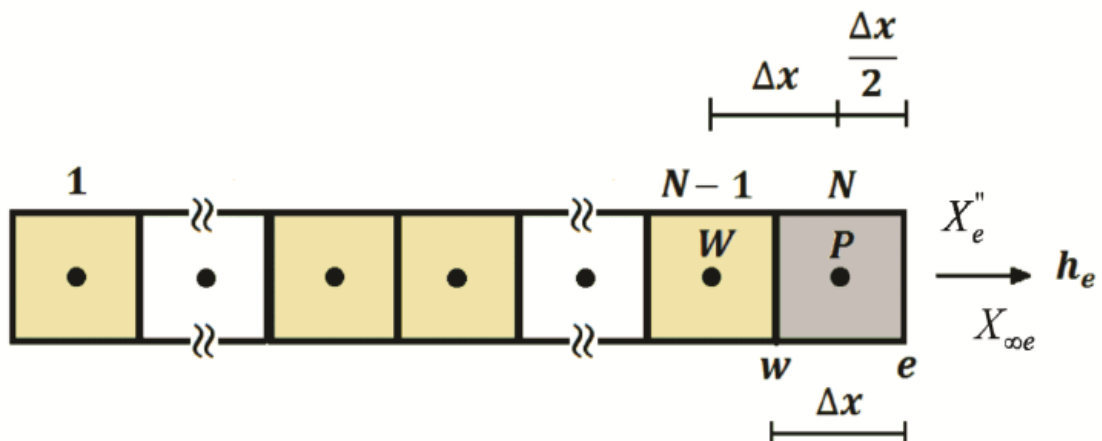
$$A_w = \frac{D_w}{\Delta x}$$

$$B = X_p^{*0} \frac{\Delta t}{\Delta x}.$$

3.5.2.4 Volume de controle no contorno leste

O volume de controle na fronteira leste possui um volume de controle vizinho a oeste e na interface leste está em contato com o meio externo. Na Figura 3.8, a seguir, é possível observar o domínio discretizado destacando o volume de controle para o leste.

Figura 3.8 - Domínio discretizado com um volume de controle destacado no oeste



Fonte: Autoria própria (2020).

Na Figura 3.8, X_e'' e h_e representam, respectivamente, o fluxo de massa por unidade de área e o coeficiente de transferência convectiva de massa no contorno leste, e $X_{\infty e}$ é o teor de unidade de equilíbrio ao longo da fronteira.

A discretização do volume de controle no contorno leste é obtida de forma semelhante a de volume de controle interno, observando que para obter os valores de D_e e h_e é necessária

uma expressão de X_e'' no contorno leste. No contorno leste da malha, o fluxo difusivo e o fluxo de transferência convectiva são considerados iguais, e portanto:

$$X_e'' = -D_e \frac{X_e^* - X_p^*}{\Delta x/2} \text{ e } X_e'' = h_e (X_e^* - X_{\infty e}^*) \quad (10)$$

Considerando as aproximações das derivadas da Eq. (6) obtém-se:

$$D \frac{\partial X^*}{\partial x} \Big|_e = D \frac{X_e^* - X_p^*}{\Delta x/2} \text{ e } D \frac{\partial X^*}{\partial x} \Big|_w = D_w \frac{X_p^* - X_w^*}{\Delta x} \quad (11)$$

Substituindo as aproximações das derivadas da Eq. (11) na Eq. (4), produz:

$$\left(\frac{\Delta x}{\Delta t} + \frac{2D_e}{\Delta x} + \frac{D_w}{\Delta x} \right) X_p^* = \frac{2D_e}{\Delta x} X_e^* + \frac{D_w}{\Delta x} X_w^* + \frac{\Delta x}{\Delta t} X_0^* \quad (12)$$

A partir da condição de contorno apresentada na Eq. (10) obtém-se:

$$X_e^* = \frac{\frac{2D_e}{\Delta x} X_p^* + h_e X_{\infty e}^*}{\frac{2D_e}{\Delta x} + h_e} \quad (13)$$

Substituindo a Eq. (13) na Eq. (12) obtém-se a seguinte equação linear:

$$A_p X_p^* = A_w X_w^* + B \quad (14)$$

onde:

$$A_p = \frac{\Delta x}{\Delta t} + \frac{D_e}{\frac{h_e}{2} + \frac{\Delta x}{2}} + \frac{D_w}{\Delta x},$$

$$A_w = \frac{D_w}{\Delta x}$$

$$B = \frac{D_e X_{oe}^*}{\frac{D_e}{h_e} + \frac{\Delta x}{2}} + \frac{\Delta x}{\Delta t} X_P^{*0}$$

Analogamente, a discretização do volume de controle no ponto nodal do contorno oeste é obtida. Também vale a pena notar, que para os contornos leste e oeste $h_e = h_w = h$ foi considerado.

Na resolução da solução numérica, a cada *step* de tempo os valores de Δx (presentes nas equações discretizadas) são recalculados da seguinte forma:

$$\Delta x = \frac{L(\bar{X}^*)}{CV}, \quad (15)$$

onde: CV é o número de volumes de controle da malha, e $L(\bar{X}^*)$ é a expressão que descreve o encolhimento do produto. As expressões para $L(\bar{X}^*)$ foram obtidas no *software Lab Fit* (SILVA; SILVA, 2009).

Considerando as hipóteses para a obtenção da solução numérica para a equação de difusão, realizou-se a discretização assumindo que a difusividade (D) pode variar com o valor local do conteúdo de umidade, ou seja:

$$D(X^*) = f(X^*, q, r), \quad (16)$$

onde q e r são os coeficientes de uma função que ajustam a solução numérica aos dados experimentais, determinados por processo de otimização, e X^* é o teor de umidade adimensional local.

O valor do parâmetro D nos pontos nodais pode ser calculado pela Eq. (16). No entanto, devido às discretizações apresentadas, é necessário obter o valor do parâmetro D nas interfaces de cada volume de controle. Em uma malha uniforme, o valor de D na interface

entre os volumes de controle P e E é calculado usando a seguinte expressão (PATANKAR, 1980):

$$D_e = \frac{2D_P D_E}{D_P + D_E} \quad (17)$$

Para os volumes de controle nos contornos (1 e N), em que os valores para o parâmetro D não podem ser calculados pela Eq. (17), seus valores são considerados iguais aos valores de D nos pontos nodais do respectivo volume de controle.

3.5.2.5 Valor médio do teor de umidade

Para estimar os parâmetros do processo, é necessário o valor médio do teor de umidade em cada *step* de tempo. Isso é definido por:

$$\bar{X}^* = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^N X_i^* V_i, \quad (18)$$

onde N é o número de volumes de controle, X_i^* é o valor do teor de umidade no volume de controle i, cujo volume é V_i , e V é dado por:

$$V = \sum_{i=1}^N V_i, \quad (19)$$

3.5.2.6 Validação e convergência de solução numérica

No caso de parede infinita, a formulação totalmente implícita fornece, a cada intervalo de tempo, um sistema de equações lineares. Este sistema linear foi resolvido usando o algoritmo Thomas-TDMA (PRESS et al., 1992). Para validar a solução numérica desenvolvida, utilizou-se uma solução analítica para Eq. (3) (considerando também a

condição de contorno do terceiro tipo). Para isso, foram utilizados valores constantes para a difusividade efetiva e para o coeficiente de transferência convectiva de massa (para ambas as soluções), e o encolhimento foi desconsiderado. Finalmente, foram realizadas simulações com as duas soluções e, em seguida, essas simulações foram comparadas. Observou-se uma excelente concordância entre as duas simulações.

3.5.2.7 Otimização

Para obter os parâmetros q , r e h , um otimizador foi desenvolvido e acoplado à solução numérica. Para estimar esses parâmetros, um código computacional foi desenvolvido usando a linguagem FORTRAN na plataforma Windows através do Compaq Visual FORTRAN 6.6 Studio, com a opção de programação Quick Win Application.

O otimizador acoplado à solução numérica foi desenvolvido através de um método inverso, que inicialmente exige que o usuário forneça valores iniciais para os três parâmetros. Esses valores são então corrigidos para minimizar uma função objetiva, que neste caso é o qui-quadrado, definido como:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{N_p} \left[X_i^{\text{exp}} - \bar{X}_i^{\text{sim}}(q,r,h) \right]^2 \frac{1}{\sigma_i^2}, \quad (20)$$

onde X_i^{exp} é o i -th ponto experimental; $\bar{X}_i^{\text{sim}}(q,r,h)$ é o valor médio de X^* obtido pela solução numérica ao mesmo tempo que X_i^{exp} ; σ_i é o desvio padrão do teor médio de umidade experimental no ponto i ; q e r são coeficientes da expressão que descrevem a difusividade efetiva, h é o coeficiente de transferência convectiva de massa e N_p é o número de pontos experimentais. No presente trabalho, todos os σ_i foram considerados igual a 1.

Além dos valores iniciais dos parâmetros a serem otimizados, outros dados de entrada são necessários, como: o teor de umidade inicial, o teor de umidade de equilíbrio, a expressão que descreve a espessura em função do teor médio de umidade, o número de volumes de controle e o número de *steps* de tempo. Em adição a estes parâmetros, o otimizador precisa de uma função $f(q, r, X^*)$ que descreva a difusividade efetiva. Para isso, o código computacional desenvolvido possui em sua biblioteca 30 expressões que o usuário pode testar, a fim de obter a que melhor se adequa ao caso estudado. A melhor expressão obtida neste estudo será

apresentada posteriormente.

Uma vez que todos os elementos necessários para a determinação do valor de χ^2 são obtidos, o próximo passo é ajustar os valores iniciais dos parâmetros q, r e h, minimizando o qui-quadrado. Para isso, o otimizador segue as seguintes etapas: 1°. Com os valores iniciais dos três parâmetros, fornecidos pelo usuário, o otimizador calcula o primeiro valor para o qui-quadrado. 2°. O otimizador começa a procurar os intervalos onde os valores ótimos para os parâmetros q, r e h se encontram. Inicialmente, com os valores do parâmetro r e h fixos, o algoritmo corrige o valor inicial do parâmetro q adicionando 0,1% ao valor atual (se o valor ótimo for maior) ou subtraindo 0,1% do valor atual (se o valor ótimo for menor). A cada correção do parâmetro “q”, um novo valor para χ^2 é calculado e comparado com o anterior. Esse processo se repete até que o valor de χ^2 seja maior que o anterior. Por fim, considera-se que o valor ótimo de “q” está dentro do intervalo $[a_{k-1}, a_k]$, onde os índices k e k-1 representam as iterações onde o qui-quadrado aumenta e a iteração anterior, respectivamente.

3°. Uma vez encontrado o intervalo contendo o valor ideal para o parâmetro, o ponto médio é calculado, o que dividirá o intervalo em dois novos intervalos. Em seguida, calcula-se o qui-quadrado nos pontos médios dos dois novos intervalos obtidos, e a escolha do melhor ponto médio é feita pela diminuição do qui-quadrado. Esse processo se repete até que o qui-quadrado não possa mais ser minimizado. 4°. O melhor ponto médio obtido no 3° passo é considerado o valor parcial ótimo para “q”.

Em cada iteração, são aplicadas as 2°, 3° e 4° etapas em cada parâmetro. No final de cada iteração, o otimizador verifica o erro relativo de cada parâmetro. O processo de otimização é encerrado quando o erro relativo de cada parâmetro é menor do que 10^{-4} . Este erro é calculado pela seguinte fórmula:

$$E_{\text{rel}} = \frac{|P_{\text{atual}} - P_{\text{anterior}}|}{P_{\text{anterior}}}, \quad (21)$$

onde E_{rel} denota o erro relativo, P_{atual} é o valor do parâmetro na atual iteração, e P_{anterior} é o valor do parâmetro da iteração anterior.

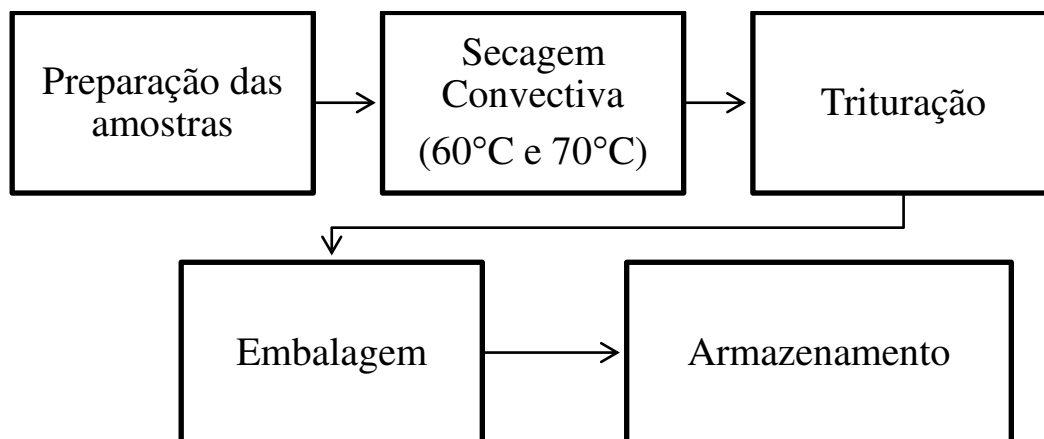
Além desses códigos desenvolvidos, o *software* LS Optimizer (SILVA; SILVA, 2017) foi utilizado para calcular as incertezas dos parâmetros obtidos nos processos de otimização. Para isso, os valores obtidos no processo de otimização foram considerados como valores

iniciais no *software* otimizador LS. O LS Optimizer *Software* determina parâmetros de equações diferenciais através de dados experimentais conhecidos, utilizando o método dos mínimos quadrados (algoritmo Levenberg-Marquardt) (SILVA et al., 2020).

3.6 Elaboração das farinhas de cascas de maracujá

Para o processamento das farinhas, as quatro amostras (CMCB 60 °C, CMSB 60 °C, CMCB 70 °C e CMSB 70 °C) passaram pelas etapas descritas na seção 3.3 e 3.4. Seguidamente, foram submetidas à trituração em liquidificador industrial (marca Colombo Premium, modelo BR, capacidade para 4 litros), e posteriormente embaladas em saco de polietileno e armazenadas em temperatura ambiente (± 23 °C) para as subseqüentes análises físico-químicas e elaboração dos biscoitos tipo *mignon*. O processo de elaboração das farinhas encontra-se descrito na Figura 3.9, a seguir:

Figura 3.9 – Fluxograma com as etapas para elaboração das farinhas das cascas de maracujá.



Fonte: Autoria própria (2020).

3.7 Elaboração dos biscoitos tipo *mignon*

Com a farinha que apresentou melhores características físico-químicas, foram desenvolvidas três formulações de biscoito tipo *mignon*, após realização de testes, com substituição parcial da farinha de trigo pela farinha da casca de maracujá sendo codificadas da seguinte forma:

BMC – biscoito *mignon* sem adição de farinha da casca de maracujá, controle;

BM10 – biscoito *mignon* adicionado de 10% de farinha da casca de maracujá;

BM20 – biscoito *mignon* adicionado de 20% de farinha da casca de maracujá.

Na Tabela 3.1 são apresentadas as formulações dos biscoitos tipo *mignon*, obtidos a partir da farinha da casca de maracujá.

Tabela 3.1 - Formulações dos biscoitos tipo *mignon*.

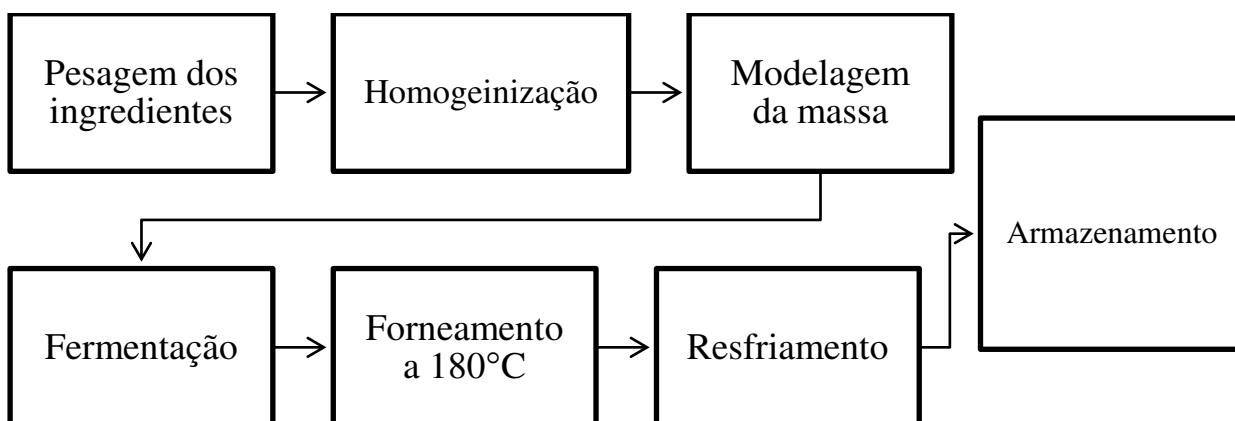
INGREDIENTES	FORMULAÇÕES		
	BMC	BM10	BM20
Farinha de trigo (g)	200	190	180
Farinha da casca do maracujá (g)	---	10	20
Fermento biológico instantâneo (g)	5	5	5
Açúcar (g)	4	4	4
Manteiga sem sal (g)	30	30	30
Sal (g)	2	2	2
Água (mL)	80	80	80

BMC – biscoito tipo *mignon* sem adição de farinha da casca de maracujá; BM10 – biscoito tipo *mignon* adicionado de 10% de farinha da casca de maracujá; BM20 – biscoito tipo *mignon* adicionado de 20% de farinha da casca de maracujá.

Para elaboração dos biscoitos tipo *mignon*, todos os ingredientes foram devidamente pesados, em balança semi-analítica (marca RADWAG), de acordo com o estabelecido na Tabela 3.1. Após a pesagem, os ingredientes secos foram homogeneizados (manualmente, com o auxílio de uma espátula de silicone), seguindo da adição da gordura e da água até total homogeneização. A massa resultante foi aberta, com auxílio de um rolo de panificação, e modelada, em formato semelhante à letra “V” (característica típica do biscoito tipo *mignon*).

Seguidamente, os biscoitos foram dispostos em formas previamente untadas, com manteiga sem sal, e seguiram para fermentação em temperatura ambiente (± 23 °C), onde permaneceram por aproximadamente 1 hora. Posteriormente, seguiram para o forneamento, em forno pré-aquecido a 180 °C por, aproximadamente, 30 minutos. Após esse período, as amostras foram resfriadas em temperatura ambiente (± 23 °C), armazenadas em sacos laminados e seguiram para as análises físico-químicas.

Figura 3.10 - Fluxograma com as etapas para elaboração dos biscoitos com farinha das cascas de maracujá.



Fonte: Autoria própria (2020).

3.8 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas foram executadas de acordo com normas preconizadas pela AOAC (2016), com exceção da determinação do teor de lipídio que seguiu a metodologia proposta por Folck, Lees e Stanley (1957).

As farinhas e os biscoitos foram caracterizados quanto aos parâmetros: Umidade, Cinzas, Acidez Titulável, Lipídios Totais e Atividade de água. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

3.8.1 Umidade

A umidade foi determinada pelo método de secagem das amostras em estufa a 105 °C por 24 horas, segundo metodologia descrita pela AOAC (2016).

Para determinação do teor de umidade das amostras, foram colocadas cápsulas de alumínio na estufa por aproximadamente 1 hora. Após esse período, as cápsulas foram retiradas, resfriadas em dessecador de vidro por 30 minutos, e tiveram seus pesos devidamente anotados.

Por volta de 3 gramas da amostra foi pesada, depositada nas cápsulas supracitadas e destinadas a secagem em estufa previamente estabilizada a 105 °C durante 24 horas. Em seguida, as cápsulas foram novamente destinadas ao dessecador de vidro, para resfriamento em temperatura ambiente, e tiveram seus pesos aferidos através de balança semi-analítica. Por

fim, procedeu-se o cálculo da Eq. 22 para a obtenção do teor de umidade.

Umidade (%) =

$$\frac{N \times 100}{P \text{ ou } V}$$

(22)

onde:

N = perda de peso (amostra seca);

P ou V = peso ou volume da amostra úmida (g ou mL).

3.8.2 Cinzas ou Resíduo Mineral Fixo (RMF)

As cinzas foram determinadas através da incineração das amostras em forno mufla a 550 °C até a obtenção de um resíduo isento de carvão com coloração branca acinzentada, segundo metodologia descrita pela AOAC (2016).

Inicialmente, cápsulas de porcelana foram previamente aquecidas em mufla a 550 °C por 24 horas, resfriadas em dessecador de vidro, e pesadas em balança semi-analítica (seus pesos foram registrados). Posteriormente, cerca de 3 gramas de amostra foi pesada nas cápsulas, seguindo para manta aquecedora para total carbonização. Após o processo citado, as mesmas seguiram para incineração em forno mufla a 550 °C, onde permaneceram por 5 horas para a eliminação total do carvão e a obtenção do material com coloração cinza-esbranquiçado. Os processos de aquecimento, resfriamento e pesagem seguiram no intervalo de 1 hora até que as amostras apresentassem peso constante. Por último, a Eq. 23 foi resolvida para determinação do valor total de cinzas.

Cinzas (%) =

$$100 \times \frac{N}{P}$$

(23)

onde:

N= peso em g de cinzas;

P = peso em g de amostra.

3.8.3 Acidez titulável (AT)

Foi determinada pelo método titulométrico, que se baseia na neutralização dos íons H⁺ com a solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 M (AOAC, 2016).

Para a determinação da acidez, aproximadamente 10 gramas da amostra foi pesada em um Elenmeyer. Logo depois, 100 mL de água destilada foram adicionadas no Elenmeyer para homogeneização completa da matéria. Em seguida, 3 gotas de fenolftaleína a 1% foram acrescentadas a mistura e iniciou-se o procedimento de titulação, com solução de hidróxido de sódio 0,1 M, até a obtenção do ponto de viragem indicado pelo surgimento da coloração rósea. Após os procedimentos anotou-se a quantidade de hidróxido de sódio utilizado na análise e realizou-se o cálculo da Eq. 24 para determinação da acidez.

Acidez (%)=

$$\frac{V \times f \times 100}{P \times c} \quad (24)$$

onde:

V = nº de mL da solução de hidróxido de sódio 0,1 N ou 0,01N gasto durante a titulação;

f = fator da solução de hidróxido de sódio 0,1 ou 0,01 N (olhar no frasco, após a padronização);

P = nº de g da amostra usado na titulação;

c = correção para solução de NaOH 1M.

3.8.4 Lipídios Totais

A determinação do teor de lipídios foi realizada segundo a metodologia proposta por Folch, Lees e Stanley (1957) que utiliza como solvente extrator a mistura de clorofórmio: metanol (2:1, v/v). Onde, 2g da amostra foi homogeneizada com 30 ml de solução de clorofórmio/metanol (2:1), seguindo para filtração em um funil acoplado a uma proveta graduada contendo papel filtro. Em seguida, 20% do volume filtrado anteriormente foi adicionado de solução de sulfato de sódio a 1,5%, procedendo-se de posterior agitação resultando na separação de fases da mistura. O material da fase superior foi descartado anotando-se apenas o valor obtido da fase inferior e retirando-se três alíquotas de 5 mL desse líquido para submeter a secagem a 105 °C em estufa durante 5 minutos, com posterior resfriamento em dessecador de vidro. Por fim, procedeu-se a pesagem em balança analítica previamente tarada para resolução do cálculo da Equação 25.

Lipídio (%) =

$$\frac{(P_1 \times V_b) \times 100}{V_a \times P_2}$$

(25)

onde:

P_1 = Peso dos lipídeos na alíquota tomada (após a estufa);

P_2 = Peso da amostra;

V_a = Volume da alíquota (5mL);

V_b = Volume inferior do extrato lido na proveta.

3.8.5 Atividade de água

A atividade de água foi determinada por meio de leitura direta da amostra em temperatura de, aproximadamente, 25 °C, em higrômetro Aqualab.

3.8.6 Análise Estatística

Os dados obtidos foram avaliados pela Análise de Variância Univariada (ANOVA) e teste de Tukey, por meio do *software* Assistat e por meios do teste *T-Student*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados experimentais da secagem

Na Tabela 4.1, estão descritos os valores de teor de umidade inicial, teor de umidade de equilíbrio e tempo de secagem dos quatro tratamentos utilizados no presente estudo.

Tabela 4.1 - Teor de umidade inicial, teor de umidade de equilíbrio e tempo de secagem de CMCB 60 °C, CMCB 70 °C, CMSB 60 °C e CMSB 70 °C.

Amostras	X_i (b.s)	X_{eq} (b.s)	$t \times 10^{-4}$ (s)
CMCB 60°C	10,85±0,440	0,11±0,017 ^a	9,00±0,000 ^a
CMCB 70°C	9,58±0,158	0,07±0,001 ^b	6,84±0,001 ^b
CMSB 60°C	7,27±0,209	0,05±0,010 ^{bc}	8,91±0,623 ^a
CMSB 70°C	5,97±0,157	0,04±0,007 ^c	7,47±0,509 ^b

Os resultados representam a média de duplicatas \pm desvio padrão. Resultados seguidos pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste Tukey ($p < 0,05$). CMCB: casca de maracujá com branqueamento; CMSB: casca de maracujá sem branqueamento; \bar{X}_i (bs): teor de umidade inicial em base seca; \bar{X}_{eq} (bs): teor de umidade de equilíbrio em base seca; $t \times 10^{-4}$: tempo em segundos.

Em relação ao teor de umidade inicial, nota-se que as amostras branqueadas apresentaram maiores valores quando comparadas as não branqueadas, isso pode estar relacionado ao fato que durante o pré-tratamento de branqueamento as amostras permanecem imersas em água durante alguns minutos, podendo absorvê-la.

A partir dos dados apresentados na Tabela 4.1, nota-se a influência do pré-tratamento e da temperatura sobre o teor de umidade de equilíbrio. A influência do branqueamento é observada tanto em amostras secas a 60 °C quanto em amostras secas a 70 °C. Percebe-se que as amostras branqueadas apresentam maior teor de umidade de equilíbrio, quando comparadas as amostras não branqueadas ($p < 0,05$). Já em relação à temperatura, a influência é observada apenas nas amostras branqueadas, em que percebe-se uma redução do teor de umidade de equilíbrio com a elevação da temperatura ($p < 0,05$), enquanto nas amostras não branqueadas não observou-se diferença nesse quesito ($p \geq 0,05$). Assim, conclui-se que o branqueamento teve maior influência no teor de umidade de equilíbrio, quando comparado com a temperatura.

Na Tabela 4.1 também mostra que o pré-tratamento não influenciou, estatisticamente, no tempo total de secagem ($p \geq 0,05$), sendo observada apenas a influência da temperatura (maiores temperaturas apresentaram menores períodos de secagem), pois como afirma Sousa

et al. (2011) o aumento da temperatura do ar de secagem possibilita uma maior remoção de água devido a um maior gradiente de umidade formado entre o produto e o ar de secagem, decrescendo o tempo necessário para remoção do teor de água.

No entanto, levando em consideração o valor absoluto, em minutos, do tempo total de secagem (CMCB 60 °C – 1500 min; CMCB 70 °C – 1140 min; CMSB 60 °C – 1485 min; CMSB 70 °C – 1245 min), observa-se uma redução de 105 minutos no tempo de secagem das amostras branqueadas secas a 70 °C, quando comparadas às amostras não branqueadas secas na mesma temperatura, sugerindo a otimização do processo mediante a utilização do pré-tratamento de branqueamento, para essa temperatura, resultando na redução do gasto energético durante a secagem e refletindo em menores custos de processamento.

4.2 Modelos empíricos

4.2.1 Descrição dos ajustes dos modelos empíricos aos dados experimentais

Na Tabela 4.2 estão expressos os parâmetros utilizados para determinar o melhor ajuste dos modelos empíricos aos dados experimentais.

Tabela 4.2 - Resultados das simulações das cinéticas de secagem descritas por expressões empíricas.

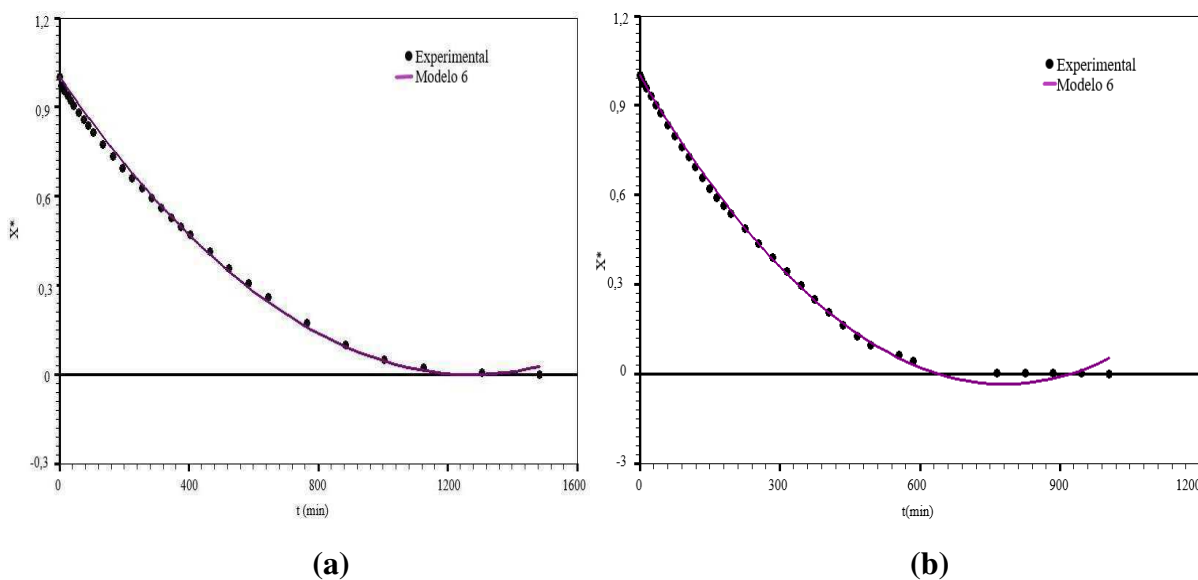
Amostras	Modelo	A	B	R ²	χ ²
CMCB 60°C	1	1,6582×10 ⁻⁶	1,2832	0,9960	2,3110×10 ⁻²
	2	3,1289×10 ⁻⁵	-	0,9897	7,9897×10 ⁻²
	3	3,6518×10 ⁴	0,5149	0,9957	2,2861×10 ⁻²
	4	3,9174×10 ⁻⁵	-1,3085×10 ⁻³	0,9916	4,8307×10 ⁻²
	5	1,0275	3,2444×10 ⁻⁵	0,9881	6,9690×10 ⁻²
	6	-2,3327×10 ⁻⁵	1,3405×10 ⁻¹⁰	0,9994	2,8347×10 ⁻³
CMSB 60°C	1	8,5023×10 ⁻⁶	1,1363	0,9965	2,1584×10 ⁻²
	2	3,3885×10 ⁻⁵	-	0,9914	3,4980×10 ⁻²
	3	3,0102×10 ⁴	0,6007	0,9959	2,3589×10 ⁻²
	4	3,7544×10 ⁻⁵	-5,4912×10 ⁻⁴	0,9917	3,0802×10 ⁻²
	5	1,0042	3,4096×10 ⁻⁵	0,9911	3,4829×10 ⁻²

	6	$-2,6213 \times 10^{-5}$	$1,7149 \times 10^{-10}$	0,9990	$1,0691 \times 10^{-2}$
CMCB 70°C	1	$3,2348 \times 10^{-6}$	1,2688	0,9982	$1,1016 \times 10^{-2}$
	2	$4,7033 \times 10^{-5}$	-	0,9936	$6,2653 \times 10^{-2}$
	3	$2,3031 \times 10^4$	0,5814	0,9953	$2,6423 \times 10^{-2}$
	4	$5,9556 \times 10^{-5}$	$-1,6784 \times 10^{-3}$	0,9951	$3,0596 \times 10^{-2}$
	5	1,0320	$4,9101 \times 10^{-5}$	0,9920	$5,0733 \times 10^{-2}$
	6	$-3,4577 \times 10^{-5}$	$2,9612 \times 10^{-10}$	0,9998	$1,1267 \times 10^{-3}$
CMSB 70°C	1	$1,1230 \times 10^{-5}$	1,1428	0,9955	$1,8558 \times 10^{-2}$
	2	$4,6224 \times 10^{-5}$	-	0,9932	$3,2726 \times 10^{-2}$
	3	$2,1122 \times 10^4$	0,6476	0,9938	$2,1649 \times 10^{-2}$
	4	$5,1979 \times 10^{-5}$	$-7,6693 \times 10^{-4}$	0,9932	$2,7191 \times 10^{-2}$
	5	1,0110	$4,6934 \times 10^{-5}$	0,9925	$3,1803 \times 10^{-2}$
	6	$-3,4621 \times 10^{-5}$	$2,9250 \times 10^{-10}$	0,9983	$1,3020 \times 10^{-2}$

Modelos: 1 – Page; 2 – Lewis; 3 – Peleg; 4 – Silva et alii; 5 - Henderson e Pabis; 6 – Wang e Singh.

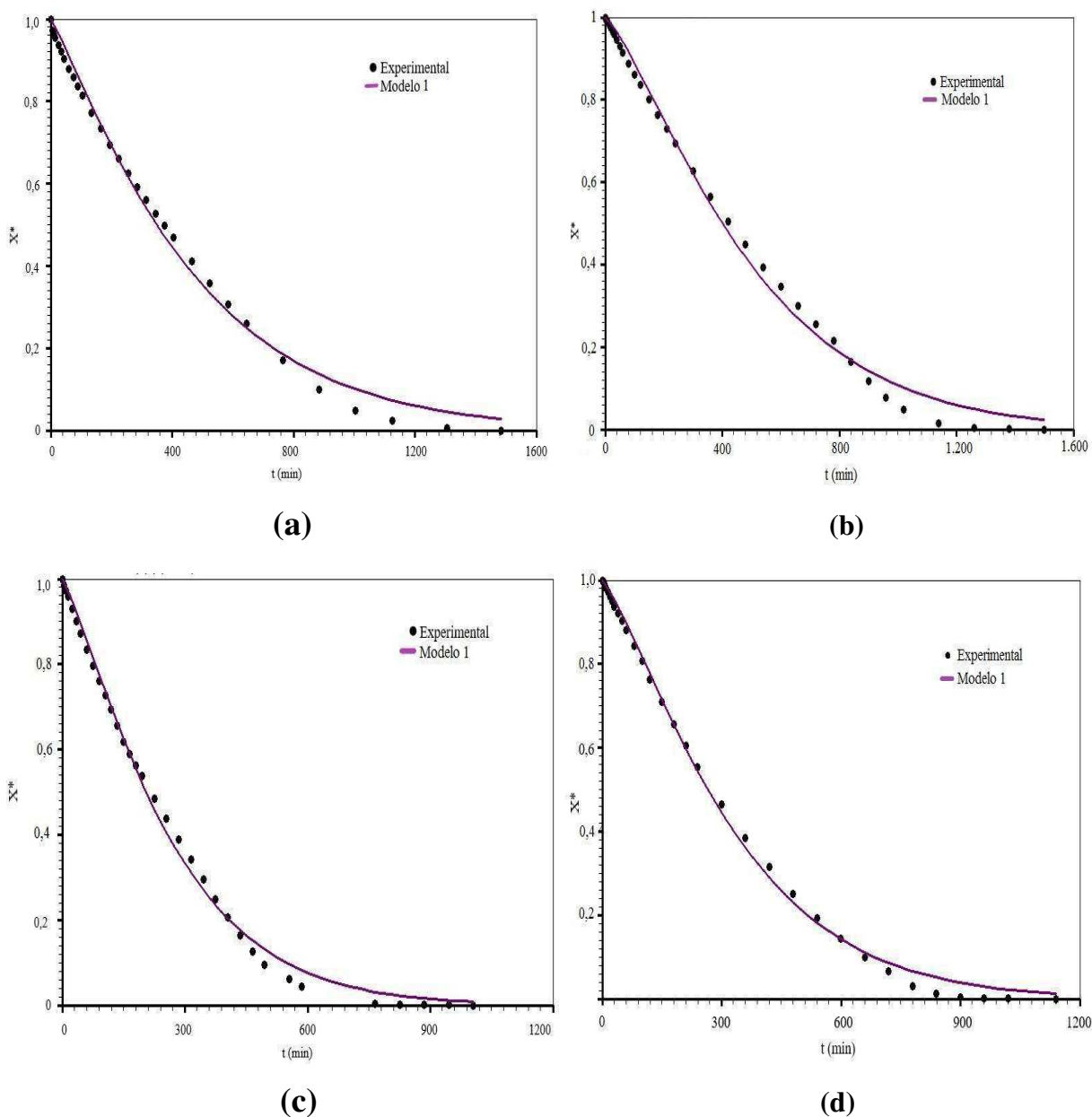
Com base nos parâmetros de Coeficiente de Determinação (R^2) e qui-quadrado (χ^2), apresentados na Tabela 4.2, o modelo 6 (Wang e Singh) de Wang e Singh (1978), foi considerado o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais, apresentando valores para R^2 e χ^2 para CMCB 60 °C, CMSB 60 °C, CMCB 70 °C E CMSB 70 °C de: (0,9994) e ($2,8347 \times 10^{-3}$), (0,9990) e ($1,0691 \times 10^{-2}$), (0,9998) e ($1,1267 \times 10^{-3}$), (0,9983) e ($1,3020 \times 10^{-2}$), respectivamente. No entanto, após a análise dos gráficos, obtidos por meio do *software Lab Fit*, observou-se que o modelo 6, para os tratamentos CMSB 60 °C e CMSB 70 °C, não previu o processo de forma coerente, pois como mostra a Figura 4.1, para ambos os tratamentos, nos minutos finais da simulação houve a predição de valores negativos para o teor de umidade, o que não faz sentido partindo do ponto de vista físico.

Figura 4.1 - Curvas do ajuste do modelo de Wang e Singh aos dados experimentais do teor de umidade adimensional em função do tempo em minutos: (a) CMSB 60 °C; (b) CMSB 70 °C.



Diante disso, o modelo que apresentou melhores indicadores estatísticos, bem como, coerência física durante o processo, foi o modelo 1 (Page) de Page (1949) apresentando valores de R^2 de (0,9960), (0,9965), (0,9982) e (0,9955), e valores de χ^2 de $(2,3110 \times 10^{-2})$, $(2,1584 \times 10^{-2})$, $(1,1016 \times 10^{-2})$ e $(1,8558 \times 10^{-2})$ para CMCB 60 °C, CMSB 60 °C, CMCB 70 °C e CMSB 70 °C, respectivamente. A Figura 4.2 apresenta as curvas de ajuste do modelo 1 para os dados experimentais.

Figura 4.2 - Curvas do ajuste do modelo de Page aos dados experimentais do teor de umidade adimensional em função do tempo em minutos: (a) CMSB 60°C; (b) CMCB 60°C; (c) CMSB 70°C; (d) CMCB 70°C.



Fonte: Autoria própria (2020).

Resultados semelhantes foram encontrados no estudo de Silva et al. (2019b), que ao avaliarem a cinética de secagem de cascas de maracujá amarelo nas temperaturas de 70 e 80 °C, indicaram o modelo de Page como o que melhor se adequou aos dados experimentais, tomando como base seus parâmetros estatísticos (R^2 e χ^2).

Santos et al. (2017) ao analisarem a cinética de secagem de cascas de pitaya de polpa

branca, submetidas à secagem em estufa nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, concluíram que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de Page, apresentando coeficiente de determinação maior que 0,998 e desvio quadrático médio menor que 0,02 para todas as temperaturas analisadas.

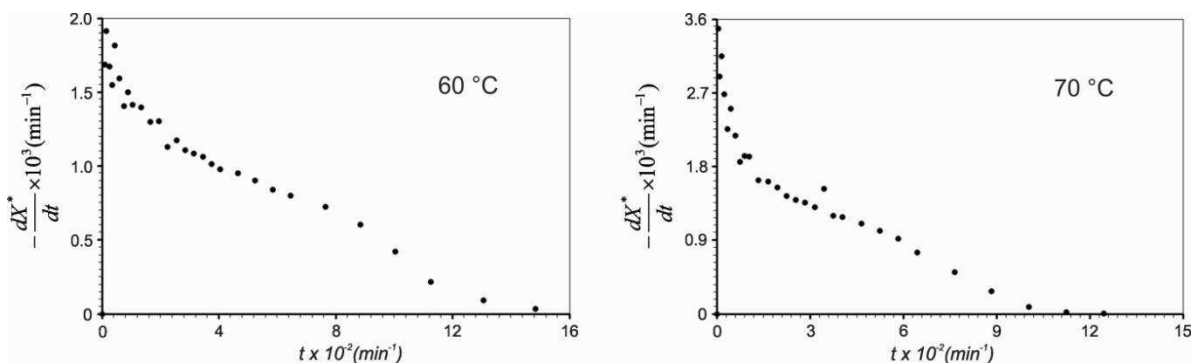
Gonçalves et al. (2016) ao estudarem a utilização de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem de cascas e polpas de bananas verdes, submetidas à secagem em estufa nas temperaturas 55, 65 e 75 °C, também identificaram o modelo de Page como o que melhor descreveu a cinética de secagem dos produtos.

Com relação aos modelos que apresentaram piores indicadores estatísticos (R^2 e χ^2), destacaram-se os modelos de Lewis e o de Henderson e Pabis (modelo 2 e 3, respectivamente), apresentando valores mais baixos de R^2 , bem como, maiores valores de χ^2 , para todos os tratamentos estudados. Resultados semelhantes foram encontrados no estudo de Pereira et al. (2017) que ao avaliarem a cinética de secagem de broto de pera espinhosa, observaram que os modelos de Lewis, Henderson e Pabis, Peleg e Wang Singh apresentaram maiores valores de χ^2 comparados aos demais modelos estudados.

4.3 Taxas de secagem

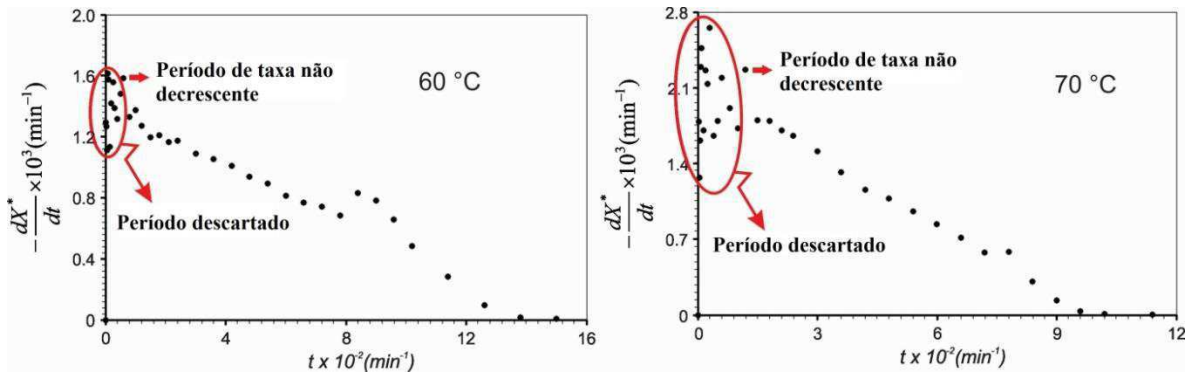
Para que o modelo difusivo proposto pudesse ser aplicado adequadamente, as taxas de secagem foram analisadas para os quatro casos estudados. O estudo dessas taxas de secagem possibilita analisar a existência de períodos não decrescentes e, no caso específico do presente estudo, possibilita analisar a influência do pré-tratamento nessas taxas. A Figura 4.3, a seguir, mostra as taxas de secagem obtidas para os quatro casos estudados.

Figura 4.3 - Taxas de secagem: (a) Taxas de secagem de CMSB 60 °C e CMSB 70 °C; (b) Taxas de secagem de CMCB 60 °C e CMCB 70 °C.



(a)

Continua...



(b)

Fonte: Autoria própria (2020).

Fazendo uma comparação entre os gráficos da Figura 4.3 (a) e, em seguida, entre os gráficos da Figura 4.3 (b), nota-se que o acréscimo da temperatura influenciou no aumento da taxa de secagem (isso pode ser visto comparando os valores da taxa de secagem no início do processo). Já ao comparar a Figura 4.3 (a) com a Figura 4.3(b), observa-se que o pré-tratamento de branqueamento induziu a redução da taxa de secagem, sobretudo, das amostras secas a 70 °C. Borges et al. (2010) ao avaliaram a secagem de banana também observaram que o pré-tratamento de branqueamento conduziu a uma menor taxa de secagem.

No geral, vale salientar, que a maior taxa foi obtida através do experimento de secagem a 70 °C das amostras não branqueadas.

A Figura 4.3 também mostra um período inicial de taxa não decrescente na secagem das amostras branqueadas. Esse fenômeno pode estar relacionado ao fato de que as amostras branqueadas têm maior quantidade de água livre na superfície do produto, devido ao pré-tratamento. Como consequência, a transferência de massa se torna fraca, e esse fenômeno continua até que a transferência de calor compense a transferência de massa. Para poder aplicar o modelo difusivo, foram removidos períodos de taxa não decrescente (como pode ser visto na Figura 4.3 (b)).

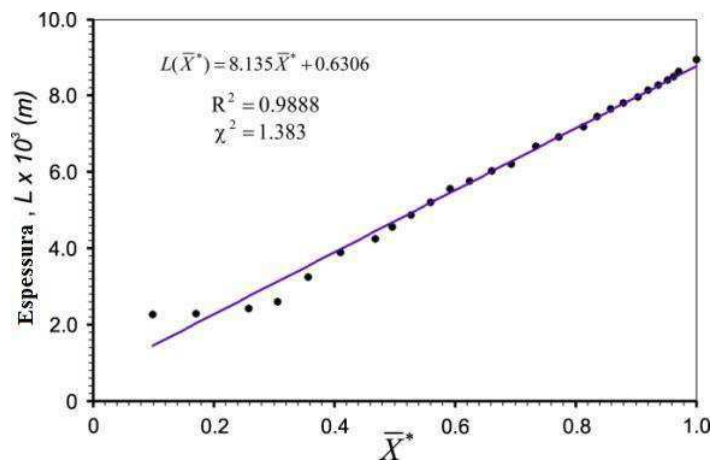
4.4 Modelo difusivo

A fim de otimizar os parâmetros termo-físicos utilizando a solução numérica proposta, estudos de malha foram realizados. Após esses estudos, foram consideradas malhas com 2.000 volumes de controle e 3.000 *steps* de tempo.

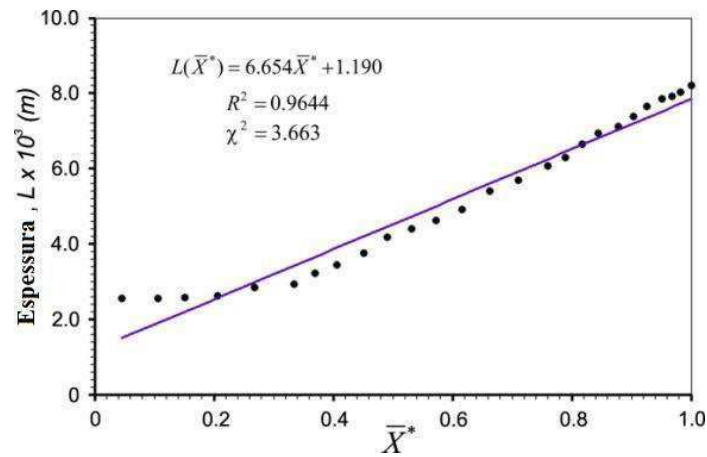
Conforme destacado na metodologia, a modelagem matemática proposta considera a variação da difusividade efetiva e o encolhimento do produto. Para descrever o encolhimento

das cascas de maracujá, as funções obtidas através do *software Lab Fit* (SILVA; SILVA, 2009) foram ajustadas aos dados experimentais de encolhimento. A Figura 4.4 mostra os ajustes dos modelos obtidos aos dados experimentais para o encolhimento. Uma vez obtidas, essas expressões foram acopladas à solução numérica para atualizar Δx a cada intervalo de tempo, conforme descrito na metodologia.

Figura 4.4 - Evolução do encolhimento das amostras não submetidas ao branqueamento para as temperaturas: (a) 60 °C e (b) 70 °C; Evolução do encolhimento das amostras branqueadas para as temperaturas: (c) 60 °C e (d) 70 °C.

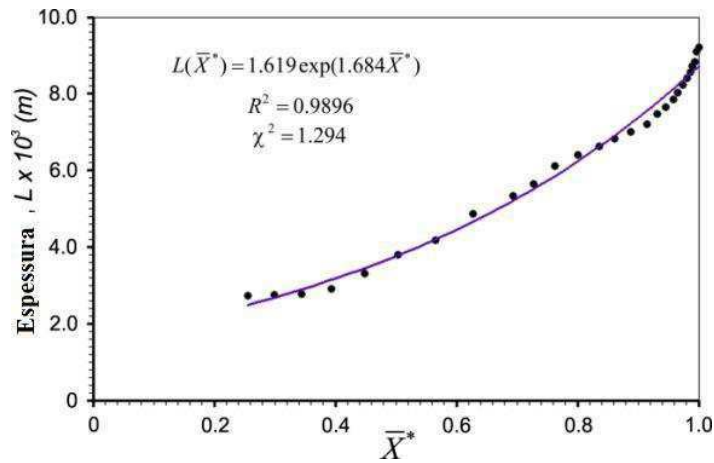


(a)

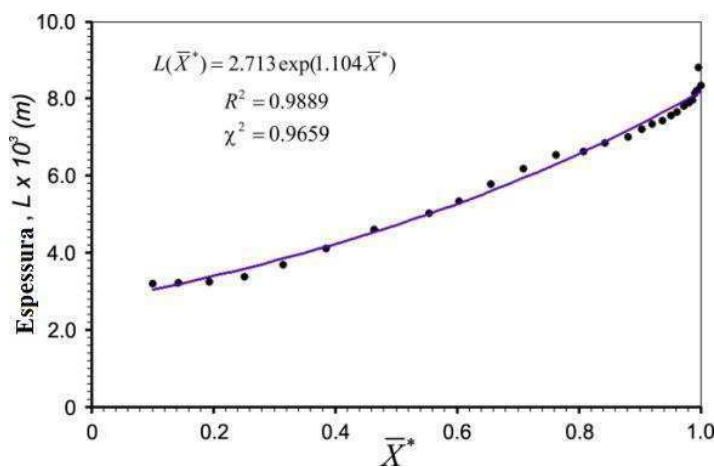


(b)

Continua...



(c)



(d)

Fonte: Autoria própria (2020).

A Figura 4.4 mostra uma pequena mudança entre a evolução do encolhimento das amostras não branqueadas e o encolhimento das amostras branqueadas, no início do processo (para valores de teor de umidade próximos a 1). Ainda é possível notar essa mudança quando os modelos obtidos para descrever o encolhimento são comparados.

Além do encolhimento, a solução numérica considera a variação da difusividade efetiva em função do teor de umidade local. Para encontrar a função que melhor descreveria essa difusividade, várias expressões foram testadas. A função utilizada para descrever a difusividade efetiva de massa é apresentada a seguir:

$$D(X^*) = \Gamma \exp(q \sqrt{X^*}) \quad (26)$$

onde q e r são os parâmetros de ajuste e D é a difusividade efetiva da água em função do teor de umidade adimensional local. Em cada teste realizado pelo otimizador, valores são atribuídos para q , r e h . Uma vez que esses valores são atribuídos pelo otimizador, a solução numérica é resolvida (para cada intervalo de tempo) calculando os valores das difusividades D_e e D_w (presentes nas equações discretizadas) utilizando a Eq.(26).

A Tabela 4.3, a seguir, mostra os valores dos parâmetros obtidos nos processos de otimização juntamente com suas incertezas.

Tabela 4.3 - Valores dos parâmetros termo-físicos juntamente com suas incertezas.

Amostras				
CMSB 60°C	q	$4.143 \pm 1.189 \times 10^{-1}$	χ^2	R^2
	r	$8.122 \times 10^{-12} \pm 5.228 \times 10^{-13}$	3.770×10^{-4}	0.99990
	h	$2.257 \times 10^{-7} \pm 1.335 \times 10^{-8}$		
CMSB 70°C	q	$2.848 \pm 7.999 \times 10^{-2}$	χ^2	R^2
	r	$2.368 \times 10^{-11} \pm 1.024 \times 10^{-12}$	1.295×10^{-4}	0.99997
	h	$2.951 \times 10^{-7} \pm 1.186 \times 10^{-8}$		
CMCB 60°C	q	$1.982 \pm 5.847 \times 10^{-1}$	χ^2	R^2
	r	$2.167 \times 10^{-11} \pm 6.910 \times 10^{-12}$	6.231×10^{-3}	0.99809
	h	$2.253 \times 10^{-7} \pm 1.079 \times 10^{-7}$		
CMCB 70°C	q	$2.705 \pm 6.683 \times 10^{-1}$	χ^2	R^2
	r	$1.750 \times 10^{-10} \pm 7.442 \times 10^{-11}$	2.763×10^{-3}	0.99892
	h	$3.297 \times 10^{-7} \pm 1.313 \times 10^{-7}$		

q e r : Coeficientes da função que descreve a difusividade efetiva; h : Coeficiente de transferência convectiva de massa.

Os valores obtidos nos processos de otimização foram submetidos ao *software* LS Optimizer (SILVA; SILVA, 2017), a fim de calcular as incertezas para cada parâmetro.

A partir dos dados observados na Tabela 4.3, é possível concluir que o modelo proposto se ajustou satisfatoriamente aos dados experimentais. Além disso, devido aos graus de incerteza observados, conclui-se que os valores obtidos para os parâmetros são confiáveis.

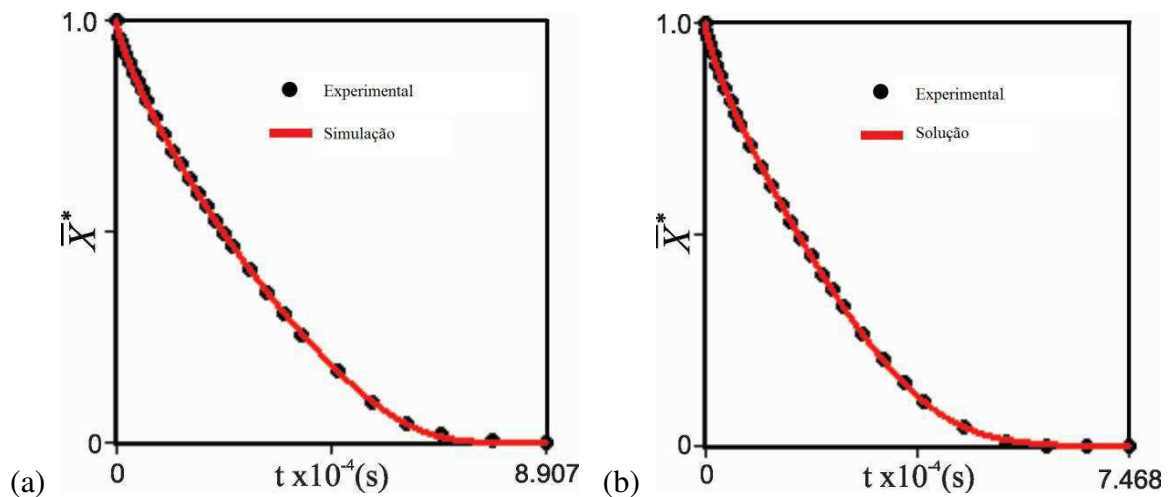
Vale ressaltar que os resultados obtidos têm probabilidade de 95,4%.

Também na Tabela 4.3, é possível notar a influência da temperatura no coeficiente de transferência convectiva de massa (à medida que a temperatura aumentou o coeficiente também aumentou), o que indica que o aumento da temperatura causou uma menor resistência superficial ao fluxo de massa. A influência da temperatura sobre coeficiente de transferência convectiva de massa também foi observada em outros estudos (SILVA et al., 2013b; SILVA et al., 2014).

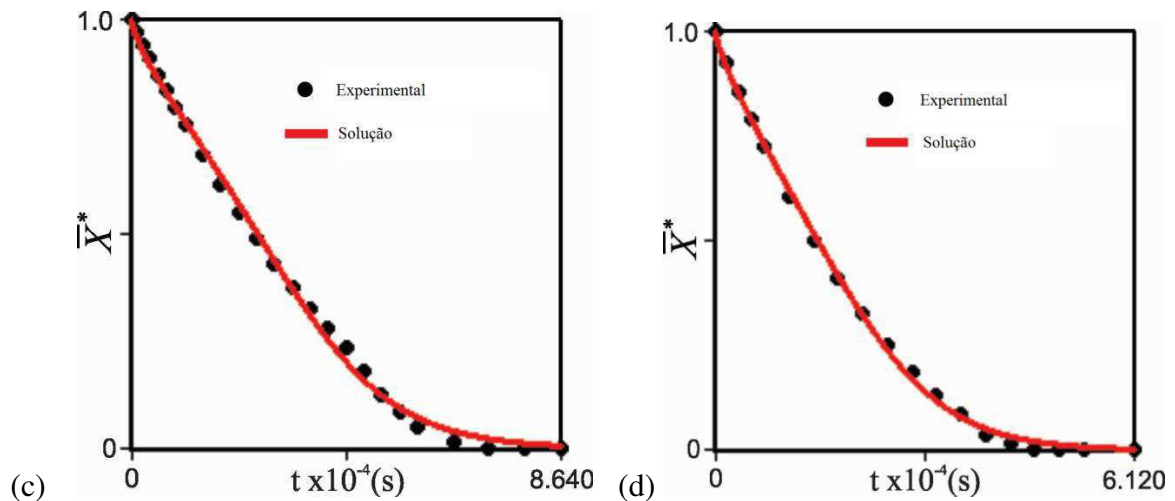
Com relação à influência do pré-tratamento, nota-se que para as amostras secas a 60 °C, a aplicação do branqueamento reduziu, de maneira sucinta, o coeficiente de transferência convectiva de massa (indicando uma maior resistência superficial ao fluxo de massa), enquanto que para as amostras secas a 70 °C, o branqueamento aumentou os valores de h (indicando uma menor resistência superficial ao fluxo de massa).

A Figura 4.5 mostra os gráficos de ajuste do modelo proposto aos dados experimentais.

Figura 4.5 - Adequação do modelo proposto aos dados experimentais para: (a) 60 °C - sem branqueamento, (b) 70 °C - sem branqueamento, (c) 60 °C - com branqueamento, (d) 70 °C - com branqueamento.



Continua...

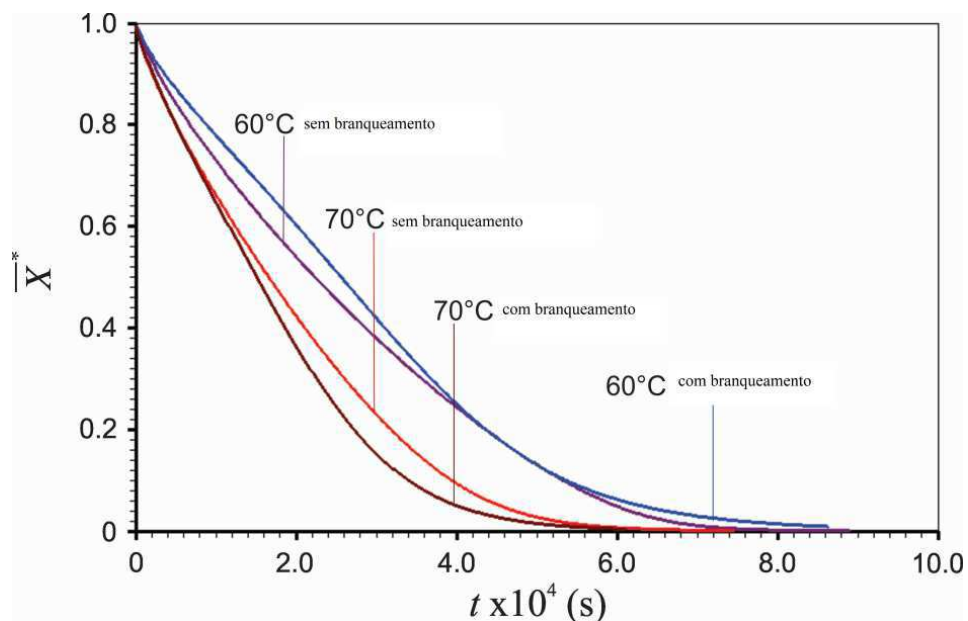


Fonte: Autoria própria (2020).

Conforme observado nos dados apresentados na Tabela 4.3, a Figura 4.5 mostra o bom ajuste do modelo proposto aos dados experimentais. Embora tenha sido observado na Tabela 4.1 que o pré-tratamento não influenciou no tempo total de secagem, na Figura 4.5 tempos menores são observados para as duas amostras branqueadas. Isso se deve ao fato do período inicial de secagem ter sido removido, considerando apenas o período de taxa decrescente.

Na Figura 4.6, as quatro cinéticas simuladas pela solução numérica são colocadas no mesmo gráfico para analisar as influências da temperatura e do pré-tratamento.

Figura 4.6 - Comparação da cinética de secagem dos quatro casos estudados.

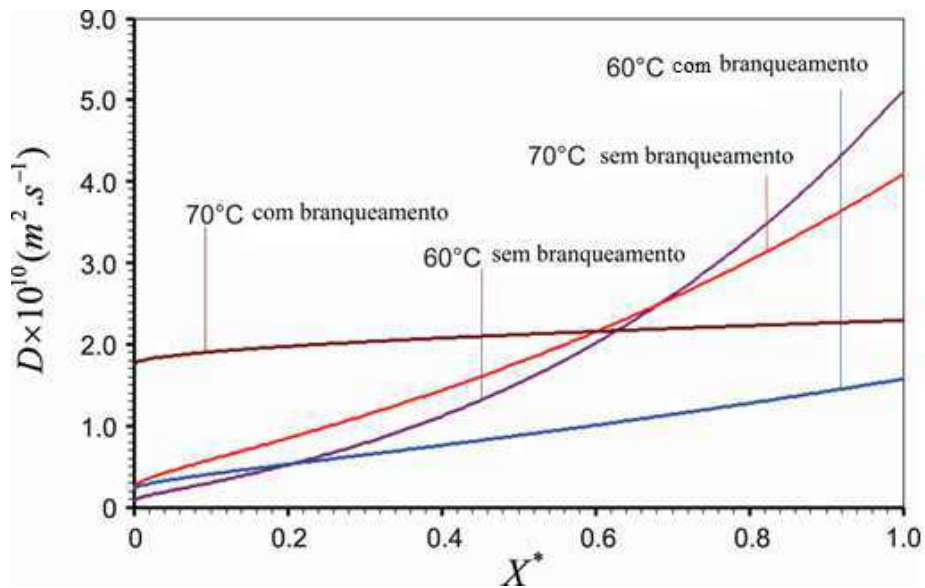


Fonte: Autoria própria (2020).

Fixando o pré-tratamento na Figura 4.6, é possível perceber uma maior influência da temperatura sobre a cinética, quando comparada à influência da aplicação do pré-tratamento. Por outro lado, os menores valores de teor de umidade foram obtidos para amostras branqueadas secas a 70 °C (indicando que foi o tratamento que secou mais rapidamente).

A Figura 4.7 mostra as difusividades para os quatro casos estudados.

Figura 4.7 – Comparação da difusividade dos quatro casos estudados.



Fonte: Autoria própria (2020).

A Figura 4.7 mostra uma diferença considerável nas difusividades no início do processo. As maiores difusividades, no início do processo, são observadas para amostras sem branqueamento, e isso está relacionado ao fato de que o período inicial das amostras branqueadas foi removido, o que implica em um menor teor de umidade, e conseqüentemente em menores valores de difusividades. Por outro lado, a partir de valores de umidade próximos a 0,6, todas as difusividades estão dentro do mesmo intervalo (entre 0 e $3.0 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$). Resultados compatíveis foram encontrados no estudo de Nascimento et al. (2016), que ao analisarem os efeitos da aplicação do ultrassom na secagem de cascas de maracujá, encontraram valores constantes de difusividade que variavam entre 0.6×10^{-10} e $41.4 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (com e sem a aplicação de ultrassom).

Além disso, a partir desse mesmo teor de umidade (valores de umidade próximos a 0,6), observou-se a maior difusividade na amostra branqueada seca a 70 °C, o que corrobora com o que foi observado na cinética (Figura 4.6).

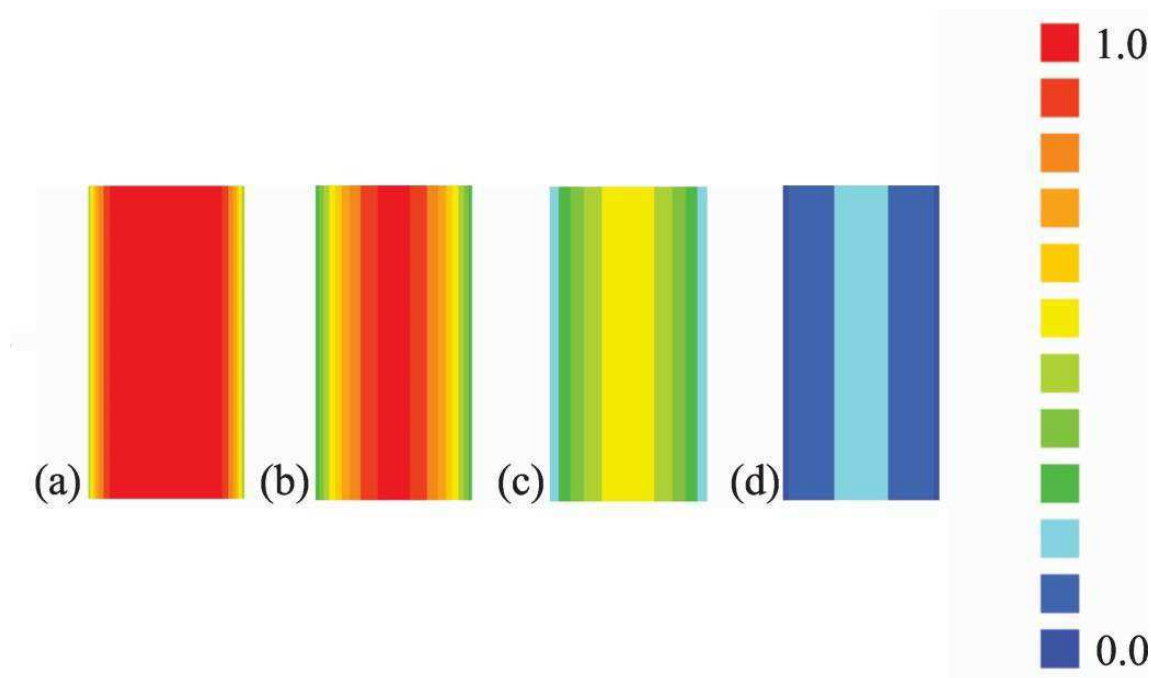
4.4.1 Distribuição de umidade no interior do produto

Por meio do *software Infinity Slab Numerical* foram gerados gráficos de contorno que simulam a distribuição de umidade no interior do produto em diversos intervalos de tempo.

Devido o tratamento CMCB 70 °C ter apresentado menor tempo de processamento (1140 minutos); menores valores de teor de umidade (com base na figura da cinética - Figura 4.6); bem como, maiores valores de difusividade efetiva no período final da secagem, escolheu-se o gráfico de contorno desse tratamento para ser exibido no presente estudo.

Na Figura 4.8 observam-se os gráficos de contorno para as cascas de maracujá que passaram pelo processo de pré-tratamento de branqueamento, submetidas à secagem a 70 °C, em intervalos diferentes (27,2 minutos; 120,02 minutos; 5 horas e 8,5 horas).

Figura 4.8 – Gráficos de contorno (sem escala), com a distribuição de umidade no interior do produto para CMCB 70 °C para os instantes: (a) 27,2 minutos; (b) 120,02 minutos; (c) 5 horas e (d) 8,5 horas.



Fonte: A autoria própria (2020).

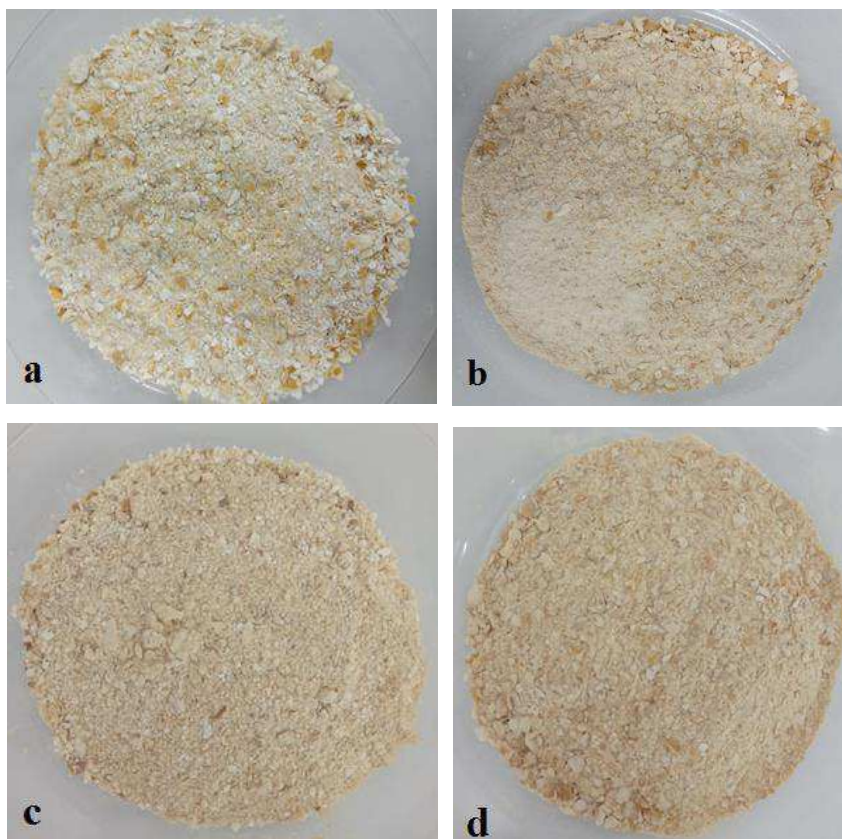
Ao analisar a Figura 4.8, nota-se que o gráfico (a) apresenta-se quase que totalmente úmido, demonstrando apenas uma sucinta perda de umidade nas extremidades (o que é fisicamente esperado devido ser um período, no início do processo, em que o produto ainda

possui elevada quantidade de água). Já os gráficos (b) e (c), com o avançar do tempo de secagem, apresentam uma perda de umidade um pouco mais acentuada, principalmente nas extremidades por estarem em contato maior com o ar de secagem. Em relação ao gráfico (d), percebe-se que nas extremidades das cascas existe um teor de umidade bastante reduzido, enquanto que a porção central se encaminha rumo ao mesmo teor.

4.5 Processamento das farinhas das cascas de maracujá

Na Figura 4.9, encontra-se as farinhas elaboradas a partir do processamento dos quatro tratamentos de estudo, descritas da seguinte forma: Farinha das cascas de maracujá sem branqueamento secas a 60 °C (FCMSB 60 °C); Farinha das cascas de maracujá com branqueamento secas a 60 °C (FCMCB 60 °C); Farinha das cascas de maracujá sem branqueamento secas a 70 °C (FCMSB 70 °C); Farinha das cascas de maracujá com branqueamento secas a 70 °C (FCMCB 70 °C).

Figura 4.9 – Farinhas das cascas de maracujá: (a) FCMSB 60 °C; (b) FCMCB 60 °C; (c) FCMSB 70 °C; (d) FCMCB 70 °C.



Fonte: Autoria própria (2021).

No que diz respeito à cor das farinhas, nota-se que as quatro amostras variaram entre as cores amarela e marrom. As amostras FCMSB 60 °C e FCMCB 60 °C apresentaram coloração mais clara, enquanto FCMSB 70 °C e FCMCB 70 °C demonstraram uma coloração mais escura (sugerindo que o aumento da temperatura de secagem pode ter intensificado a cor das farinhas), sendo FCMCB 70°C a mais escura entre elas.

Em relação à granulometria das farinhas, observa-se que as amostras FCMSB 60 °C e FCMCB 60 °C apresentaram uma maior quantidade de partículas (pequenas partes de cascas de maracujá), enquanto FCMSB 70 °C e FCMCB 70 °C, demonstraram-se mais finas e macias.

Com isso, pode-se sugerir que não houve influência significativa do pré-tratamento de branqueamento sobre os parâmetros de cor, sendo observada apenas a influência da temperatura.

4.5.1 Caracterização físico-química das farinhas das cascas de maracujá

Na Tabela 4.4 encontram-se os resultados relativos às análises físico-químicas realizadas nas farinhas de cascas de maracujá.

Tabela 4.4 – Análises físico-químicas das farinhas das cascas de maracujá.

Farinhas das cascas de maracujá com e sem branqueamento secas a 60 °C					
	Umidade (%)	Cinzas (%)	a_a	Acidez (%)	Lipídeos (%)
FCMSB	6,33±0,48	5,02±0,11	0,49±0,00*	7,10±1,19*	1,13±0,57*
60°C					
FCMCB	7,14±0,29*	6,15±0,04*	0,27±0,00	5,87±0,69	0,68±0,16
60°C					
Farinhas das cascas de maracujá com e sem branqueamento secas a 70 °C					
FCMSB	6,10±0,39	6,45±0,05*	0,33±0,00*	7,94±0,53*	0,90±0,66*
70°C					
FCMCB	7,97±0,40*	6,06±0,06	0,21±0,01	6,87±0,23	0,54±0,66
70°C					

a_a: Atividade de água. Médias com * diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste *T-Student* ao nível de 5% de probabilidade.

No que se refere aos resultados obtidos para análise de umidade, percebe-se que as

amostras que passaram pelo pré-tratamento de branqueamento apresentaram maior teor de umidade quando comparadas as não branqueadas, podendo estar relacionado ao fato que durante o pré-tratamento as amostras ficam submersas em água durante alguns minutos, podendo absorvê-la, resultando em um maior teor de umidade.

O teor de umidade das farinhas variou entre 6,10% e 7,97%. Resultados semelhantes foram encontrados na pesquisa de Oliveira et al. (2016b) que ao avaliarem as características físico-químicas, tecnológicas e morfológicas de cascas de maracujá secas a 60 °C, obtiveram valores de 6,72%. Teores de umidade inferiores foram identificados no estudo de Silva et al. (2019b), que avaliaram as características físico-químicas de farinhas de casca de maracujá secas nas temperaturas de 70 °C e 80 °C, e obtiveram valores de 5,13 e 4,63%, respectivamente.

De acordo com a Resolução-RDC N° 263, de 22 de Setembro de 2005, produtos de cereais, farinhas e afins devem apresentar umidade máxima de 15,0 % (g /100 g) (BRASIL, 2005a), com base nessa resolução, todas as farinhas analisadas no presente estudo atenderam a esse requisito.

Em relação ao teor de cinzas, maiores valores foram identificados para FCMSB 70°C (6,45%), enquanto FCMSB 60°C apresentou menor teor de cinzas entre as amostras (5,02%). Resultado aproximado foi encontrado no estudo de Cazarin et al. (2014), no qual foi relatado 6,88% de cinzas para farinha de cascas de maracujá, seca em estufa com circulação de ar a 50°C. Jinkings, Gonçalves e Silva (2020) ao analisarem farinhas da casca de maracujá, secas em estufa a 60°C por 30 horas, identificaram resultados inferiores (1,97%). Valores superiores (8,66%) foram encontrados no estudo de Souza, Ferreira e Vieira (2008).

Até o momento não existe um regulamento técnico de identidade e qualidade de farinha de casca de maracujá, mas de acordo com a instrução normativa para farinha de trigo, o teor de cinzas máximo para farinha de trigo integral (farinha que mais se assemelha com a farinha da casca de maracujá) é de 2,5% (BRASIL, 2005b). Com base nessa constatação, nenhuma das farinhas do presente estudo atende esse requisito, porém, essa não conformidade não se apresenta como uma característica negativa, pois de acordo com Silva et al. (2019b) quanto maior o teor de cinzas das amostras, maior o conteúdo de minerais, contribuindo para um produto final mais nutritivo.

No que concerne à atividade de água (a_w), observa-se que a FCMSB 70°C apresentou menores valores, indo ao encontro dos resultados obtidos para cinética e difusividade para essa amostra. Resultado superior foi obtido no estudo de Filho, Souza e Castro (2019), que ao

avaliarem os parâmetros físico-químicos de farinhas de cascas de melancia, obtiveram valor de a_a de 0,49.

Conforme Chisté et al. (2007) o limite mínimo de atividade de água para a proliferação de micro-organismos é de 0,60. Diante disso, todas as amostras analisadas no presente estudo apresentaram teores de a_a interessantes para não proliferação de micro-organismos patogênicos, podendo ser consideradas farinhas estáveis do ponto de vista microbiológico.

Chisté et al. (2006) ao avaliarem a qualidade de farinhas de mandioca, encontraram variações de acidez de 4,11 a 7,10%, valores esses, semelhantes aos encontrados no presente estudo (que variaram entre 5,87 a 7,10%). Silva et al. (2020b) analisaram as características físico-químicas de farinhas de cascas de melão e abacaxi, secas em estufa com circulação de ar a 60 °C, e obtiveram valores de acidez inferiores ao da presente pesquisa (1,59 e 2,69, respectivamente). Valores superiores (8,16%) foram achados no estudo de Aquino et al. (2010) para farinha do resíduo de acerola seca em secador elétrico tipo cabine com circulação forçada de ar a 60°C.

A determinação da acidez em alimentos pode indicar alterações microbiológicas, presença de ácidos orgânicos, oxidação de lipídeos, bem como, aspectos relativos à estabilidade dos produtos, visto que, a alta acidez retarda a deterioração de alimentos por minimizar a ação de micro-organismos deteriorantes (CECCHI, 2003). Mediante essa constatação, pode-se sugerir que os valores de acidez encontrados no presente estudo podem ser explicados pelo fato do maracujá ser um fruto cítrico e com isso apresentar quantidades significativas de ácidos orgânicos (como o ácido cítrico). Ácidos como o acético e o cítrico são geralmente acrescentados nos alimentos no intuito de aumentar sua acidez e diminuir a ação de micro-organismos (RUSSEL; GOULD, 2003). Com base no supracitado, as farinhas de cascas de maracujá podem ser consideradas produtos menos susceptíveis a ação de agentes deteriorantes.

No que diz respeito ao teor de lipídeos, observa-se que todas as farinhas apresentaram valores baixos desse componente, indicando que as amostras apresentaram reduzido valor calórico e com isso podem ser tranquilamente implementadas na produção de alimentos para controle de ingestão calórica.

Araújo Spinosa (2017) ao estudar as características físico-químicas de farinhas de cascas de maracujá amarelo e de maracujá-do-cerrado, obtiveram valores de lipídeos semelhantes aos encontrados no presente estudo (1,19 e 1,10%, respectivamente). Santana et al. (2012) ao avaliarem farinhas das cascas de maracujá secas a 70 °C, também obtiveram

resultados semelhantes aos encontrados na presente pesquisa (0,57%). Valores superiores foram identificados no estudo de Ramos et al. (2021) que ao analisarem as características físico-químicas, microbiológicas e antioxidantes de farinhas de casca e amêndoa de manga, obtiveram valores de 6,34 e 6,88%, respectivamente.

Com base em todas as informações adquiridas, percebe-se que as quatro farinhas estudadas (FCMSB 60°C, FCMCB 60°C, FCMSB 70°C e FCMCB 70°C) apresentaram características físico-químicas satisfatórias, estando em conformidade com as exigências estabelecidas pelos regulamentos técnicos, e com isso, demonstrando plena capacidade de inserção na alimentação humana.

4.6 Processamento dos biscoitos tipo *mignon*

Para a elaboração dos biscoitos tipo *mignon*, enriquecidos com farinha de casca de maracujá, se fez necessário selecionar a farinha que apresentasse melhores características físico-química, bem como, menor tempo de processamento. Levando em consideração que todas as quatro farinhas apresentaram características físico-químicas satisfatórias, selecionou-se a farinha das cascas de maracujá com branqueamento secas a 70 °C (FCMCB 70 °C) por ter sido aquela que apresentou menor tempo de processamento (1140 minutos), indicando a otimização do processo.

Na Figura 4.10, encontra-se os biscoitos tipo *mignon* desenvolvidos no presente estudo, descritos da seguinte forma: BMC – biscoito *mignon* sem adição de farinha da casca de maracujá, controle; BM10 – biscoito *mignon* adicionado de 10% de farinha da casca de maracujá; BM20 – biscoito *mignon* adicionado de 20% de farinha da casca de maracujá.

Figura 4.10 – Biscoitos tipo *mignon*: (a) BMC antes do forneamento; (b) BMC após o forneamento; (c) BM10 antes do forneamento; (d) BM10 após o forneamento; (e) BM20 antes do forneamento; (f) BM20 após o forneamento.



Fonte: Autoria própria (2021).

No que diz respeito à coloração das amostras, nota-se que as formulações que receberam a farinha da casca de maracujá (BM10 e BM20) apresentaram uma tonalidade mais escurizada, quando comparadas aos biscoitos controle (sem adição de farinha da casca de maracujá).

Foi possível observar que houve um escurecimento crescente dos biscoitos, pois à medida que a quantidade de farinha de casca de maracujá aumentava na massa, os biscoitos apresentavam uma coloração mais escura. Segundo Perez e Germani (2007) a cor dos

biscoitos está diretamente relacionada com os ingredientes utilizados para sua preparação, os autores afirmam que biscoitos ricos em fibras dietéticas tendem a apresentar coloração mais escura, mediante essas afirmações, acredita-se que possivelmente os biscoitos produzidos com a farinha das cascas de maracujá podem apresentar elevada quantidade de fibras alimentares.

4.6.1 Caracterização físico-química dos biscoitos tipo *mignon*

Os resultados referentes às análises físico-químicas das três formulações de biscoitos, elaboradas no presente estudo encontram-se na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Análises físico-químicas dos biscoitos tipo *mignon*.

Amostras	Análises físico-químicas			
	Umidade (%)	Cinzas (%)	a _a	Lipídeos (%)
BMC	12,69±0,50 ^a	1,40±0,01 ^c	0,60±0,0 ^a	37,03±0,48 ^a
BM10	8,34±0,58 ^b	1,76±0,05 ^b	0,59±0,0 ^a	23,99±1,29 ^b
BM20	8,45±0,58 ^b	2,04±0,02 ^a	0,59±0,0 ^a	25,70±0,23 ^b

a_a: Atividade de água. As médias seguidas por letras distintas diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Ao observar os resultados obtidos para o teor de umidade, nota-se que houve diferença estatística entre os biscoitos controle (BMC) e os biscoitos elaborados com farinha de casca de maracujá (BM10 e BM20), sendo BMC o que apresentou maior teor de umidade (12,69%) ($p < 0,05$). Com base nessas constatações, sugere-se que a adição de farinha de casca de maracujá atuou na redução do teor de umidade das amostras. Resultados diferentes foram identificados no estudo de Gusmão et al. (2018), no qual foi obtido um valor de umidade de 4,42% para biscoitos enriquecidos com farinha de algaroba.

Valores reduzidos de umidade estão diretamente relacionados com uma maior vida de prateleira de biscoitos e bolachas. Segundo Selani et al. (2014), baixo teor de umidade, em produtos alimentícios, minimiza reações enzimáticas e não enzimáticas, bem como, retarda contaminações microbiológicas, apresentando-se como um aspecto positivo na conservação dos alimentos.

De acordo com a RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005 (BRASIL, 2005a), a umidade de biscoitos e bolachas não deve exceder 14%, sendo assim, as três formulações do presente estudo estão em conformidade com a legislação vigente.

Quanto à análise de cinzas, observa-se diferença estatística entre as três amostras, em que, BMC foi o biscoito que apresentou menor teor de cinzas (1,40%), BM10 valor intermediário (1,76%), enquanto BM20 foi à formulação com maior proporção (2,04%). Resultado semelhante foi encontrado no estudo de Duarte et al. (2021) que ao avaliarem biscoitos elaborados com farinha de resíduos de frutas (abacaxi, maracujá, maçã e banana) obtiveram valores de 2,02% de cinzas.

Nota-se um aumento crescente do valor de cinzas nas amostras à medida que a proporção de farinha de casca de maracujá aumenta nas formulações, com isso, sugere-se que quanto maior a quantidade de farinha de casca de maracujá nas preparações, maior a quantidade de minerais, pois como afirma Silva et al. (2019b), quanto mais elevado os valores de cinzas dos produtos alimentícios (seguindo as quantidades estabelecidas pela legislação) maior o teor de micronutrientes (minerais).

Com base na RDC nº 263 de 22 de setembro de 2005, que dispõe sobre o regulamento técnico de identidade e qualidade de biscoitos, bolachas e afins, o teor de cinzas desses produtos não deve exceder 3% (BRASIL, 2005a), desse modo, as formulações estudadas na presente pesquisa atendem as exigências técnicas para esse parâmetro físico-químico.

Em relação à atividade de água (a_w), é possível verificar que não houve diferença significativa entre as amostras. Resultado aproximado foi encontrado no estudo de Lima et al. (2019), que ao avaliarem biscoitos elaborados com farinha de resíduos de frutas (maracujá, abacaxi e melão) obtiveram valores de atividade de água de 0,49. Segundo Cleric et al. (2013), o nível ideal de atividade de água para biscoitos deve ser até 0,60, uma vez que a a_w é um fator determinante para o desenvolvimento de micro-organismos, e a maioria deles não consegue se desenvolver em condições de a_w , <0,60. Com isso, BMC, BM10 e BM20 apresentaram-se como produtos estáveis para serem inseridos na indústria alimentícia.

Por fim, ao que diz respeito à análise de lipídeos, é possível perceber que houve diferença significativa entre a amostra BMC (37,03%) e as amostras BM10 (23,99%) e BM20 (25,70%), sendo BMC aquela que apresentou maior teor de lipídeos ($p < 0,05$). Com base nessa constatação, sugere-se que a adição de farinha de casca de maracujá em preparações culinárias pode auxiliar na redução do teor lipídico desses produtos.

Resultados semelhantes foram encontrados no estudo Vieira et al. (2015), em que avaliaram biscoitos elaborados com farinha de soja, quinoa e amaranto obtiveram teor de lipídeo de 24,84%.

Diante do exposto, pode-se considerar que os biscoitos tipo *mignon*, elaborados com

farinhas das cascas do maracujá, são produtos promissores do ponto de vista biotecnológico, apresentando alta capacidade de inserção na indústria alimentícia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Observou-se que o pré-tratamento de branqueamento e a temperatura influenciaram no teor de umidade de equilíbrio. Amostras branqueadas apresentaram maior teor de umidade, em comparação com as amostras não branqueadas. Quanto à temperatura de secagem, foi verificada influência apenas nas amostras branqueadas (redução do teor de umidade de equilíbrio com a elevação da temperatura);
- No que diz respeito ao tempo de secagem, notou-se que o pré-tratamento de branqueamento não influenciou, estatisticamente, no tempo total de secagem das amostras, sendo observada apenas a influência da temperatura (maiores temperaturas apresentaram menores períodos de secagem). Porém, levando em consideração o valor absoluto, em minutos, do tempo total de secagem, observou-se uma redução no período de secagem das amostras branqueadas secas a 70 °C, sugerindo a otimização do processo;
- Quanto aos modelos empíricos utilizados para descrição da cinética de secagem, o modelo de Wang e Singh foi considerado o que apresentou melhores valores de coeficiente de determinação (R^2) e qui-quadrado (χ^2), porém, não pôde ser considerado, pois apresentou valores negativos para o teor de umidade no fim do processo. Com isso, Page foi eleito o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais;
- Houve uma influência significativa da temperatura sobre as taxas de secagem (à medida que a temperatura aumentou a taxa também aumentou). Do mesmo modo, foi possível observar uma forte influência do pré-tratamento de branqueamento sobre as taxas de secagem (redução das taxas), para ambas as temperaturas (60 e 70 °C), mas principalmente para as amostras secas a 70 °C;
- No que concerne à utilização do modelo de difusão, ficou notório que o modelo proposto no presente estudo se ajustou de maneira satisfatória aos dados experimentais;
- Com base nos valores de R^2 e χ^2 , bem como, nos ajustes gráficos, observou-se que o modelo difusivo se ajustou de maneira mais satisfatória aos dados experimentais, quando comparado aos modelos empíricos;

- Foi possível observar uma pequena mudança entre a evolução do encolhimento das amostras não branqueadas e o encolhimento das amostras branqueadas, no início do processo;
- Notou-se que à medida que a temperatura de secagem aumentou o coeficiente de transferência convectiva de massa também aumentou. Quanto à influência do pré-tratamento, notou-se que para as amostras secas a 60 °C, a aplicação do branqueamento reduziu, de maneira sucinta, o coeficiente de transferência convectiva de massa (h), enquanto que para as amostras secas a 70 °C, o branqueamento aumentou os valores de h ;
- Em relação às cinéticas dos quatro tratamentos de estudo, pôde-se perceber que houve uma maior influência da temperatura, quando comparada ao pré-tratamento de branqueamento;
- Quanto à difusividade efetiva de massa, verificou-se uma diferença significativa nessas difusividades no início do processo, para os quatro casos estudados. Essa diferença foi relacionada ao teor de umidade das amostras no início da secagem;
- Por meio da distribuição de umidade no interior do produto, verificou-se que as extremidades das cascas do maracujá secaram mais rapidamente quando comparadas a porção mais central, e que à medida que o período de secagem progredia, esse processo se intensificava até atingir o teor de umidade de equilíbrio;
- Quanto às farinhas elaboradas, pôde-se observar que aquelas obtidas a partir das cascas secas a 70 °C (branqueadas e não branqueadas) apresentaram coloração mais escura e granulometria mais refinada, quando comparadas com as farinhas provenientes das cascas secas a 60 °C. Diante disso, observou-se que não houve influência significativa do processo de branqueamento sobre os parâmetros de cor e granulometria, sendo observada apenas a influência da temperatura;
- Com relação à caracterização físico-química das farinhas, os resultados para a análise de umidade foram satisfatórios, pois todas as amostras estavam dentro do padrão estabelecido pela legislação vigente (valores <15%). No que se refere à análise de cinzas, maiores teores foram identificados em FCMSB 70°C, apontando que essa amostra apresentou maior quantidade de resíduo mineral fixo. Quanto à atividade de água, todas apresentaram valores adequados (<0,6, limite mínimo de atividade de água para a proliferação de micro-organismos patogênicos). Em relação à análise de acidez, percebeu-se que às amostras apresentaram um teor de acidez intermediário, derivado

das quantidades significativas de ácidos orgânicos presentes no maracujá. Com base no teor de lipídeo, observou-se que todas as farinhas apresentaram valores baixos desse macronutriente, indicando que as amostras, por apresentarem valor calórico reduzido, podem ser implementadas na produção de alimentos para controle de ingestão calórica. Com isso, todas as quatro farinhas estudadas apresentaram características físico-químicas satisfatórias, estando em conformidade com as exigências estabelecidas pelos regulamentos técnicos, apresentando-se como uma opção para o enriquecimento nutricional de produtos alimentícios;

- A farinha das cascas de maracujá com branqueamento secas a 70 °C (FCMCB 70 °C) foi a amostra selecionada para elaboração dos biscoitos tipo *mignon*, pois além de ter apresentado boas características físico-químicas, ainda apresentou o menor tempo de processamento, menores valores de teor de umidade (com base na cinética de secagem), bem como, maiores valores de difusividade efetiva no período final do processo. Em relação à coloração dos biscoitos, notou-se um escurecimento progressivo à medida que a quantidade de farinha de casca de maracujá aumentava na massa;
- Sobre a caracterização físico-química dos biscoitos tipo *mignon*, a análise de umidade demonstrou que todas as amostras estavam em conformidade com a legislação, apresentando valores inferiores a 14%. Quanto ao teor de cinzas, as três formulações estavam de acordo com o regulamento técnico de identidade e qualidade de biscoito (teor de cinzas <3%). Os níveis de atividade de água também foram satisfatórios para todas as amostras (não excedente a 0,6). Em relação ao teor de lipídeo, percebeu-se que os biscoitos enriquecidos com farinha de casca de maracujá apresentaram valores inferiores quando comparados ao biscoito padrão, sugerindo que a adição de farinha de casca de maracujá reduziu o teor lipídico dessas formulações. Diante disso, os biscoitos tipo *mignon*, enriquecidos com farinhas das cascas do maracujá, podem ser considerados produtos promissores do ponto de vista biotecnológico;
- Faz-se necessário a execução de mais análises físico-químicas, tanto para as farinhas quanto para os biscoitos, bem como, estudos dos parâmetros microbiológicos e sensoriais, para que haja um entendimento mais detalhado sobre as características desses produtos;

- Estudos com outras faixas de temperatura devem ser estimulados, visando à otimização dos parâmetros de processo, bem como, a obtenção de produtos de melhor qualidade.

REFERÊNCIAS

- AIRES, J. E. F. **Uso de soluções numéricas da equação de difusão em coordenadas cartesianas na descrição da desidratação osmótica de frutas**. 2015, 288 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2015.
- ANURANGI C, R.; SHAMINA, S. Preliminary Phytochemical Screening and Acute & Subcutetotoxicity Study on Different Concentrations of Unripen Fruit Peel Flour of *Passiflora edulis* in Male Albino Rats. **World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, v.3, n.7, p. 828-34, 2018.
- AOAC, G. W. Official methods of analysis of AOAC International. Rockville, MD: AOAC International, ISBN: 978-0-935584-87-5. 2016
- ARAÚJO SPINOSA, E. Caracterização de farinha da casca de maracujá amarelo e maracujá-do-cerrado. **Revista Científica Semana Acadêmica**, 2017.
- ARAUJO, 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 Agronômica**, v. 48, n. 3, p. 448-457, 2017.
- AQUINO, A. C. M. D. S.; MÓES, R. S.; LEÃO, K. M. M.; FIGUEIREDO, A. V. D.; CASTRO, A. A. Avaliação físico-química e aceitação sensorial de biscoitos tipo cookies elaborados com farinha de resíduos de acerola. **Revista do Instituto Adolfo Lutz (Impresso)**, v. 69, n. 3, p. 379-386, 2010.
- AYRES, J.; MADEIRA, T.; CASTRO, A. P.; ROSA, G. S. Estudo da cinética de secagem de cascas de uva em leito fixo. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 11, n. 2, 2019.
- BARROS, S. L.; CÂMARA, G. B.; LEITE, D. D. F.; SANTOS, N. C.; DOS SANTOS, F. S.; SOARES, T. C.; LIMA, A. R. N.; SOARES, T. C.; OLIVEIRA, M. N.; VASCONCELOS, U. A. A.; QUEIROZ, A. J. M.; ALBUQUERQUE, A. P. Mathematical modeling of drying kinetics of kino bark (*Cucumis metuliferus*). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. 60911608, 2020.
- BEZERRA, C.V.; DA SILVA, L. H. M.; CORRÊA, D. F.; RODRIGUES, A. M. A modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of passion fruit peel. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 85, p. 750-755, 2015.
- BORGES, F. B. **Descrição da secagem convectiva de grãos de milho através de modelos**

difusivos. 2016, 171 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

BORGES, S. V.; MANCINI, M. C.; CORRÊA, J. L. G.; LEITE, J. Secagem de bananas prata e d'água por convecção forçada. **Food Science and Technology**, v. 30, n. 3, p. 605-612, 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 262, de 22 de setembro de 2005**. Brasília: Ministério da Saúde, 23 set. 2005a.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 8, de 2 de junho de 2005**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 3 jun. 2005b.

CAZARIN, C. B. B.; SILVA, J. K. D.; COLOMEU, T. C.; ZOLLNER, R. D. L.; MARÓSTICA JUNIOR, M. R. Capacidade antioxidante e composição química da casca de maracujá (*Passiflora edulis*). **Ciência Rural**, v. 44, n. 9, p. 1699-1704, 2014.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. Editora da UNICAMP, 2003.

CELESTINO, S. M. C. Princípios de secagem de alimentos. **Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E)**, 2010.

CHEOK, C. Y.; MOHD ADZAHAN, N.; ABDUL RAHMAN, R.; ZAINAL ABEDIN, N. H.; HUSSAIN, N.; SULAIMAN, R.; CHONG, G. H. Current trends of tropical fruit waste utilization. **Critical reviews in food science and nutrition**, EUA, v. 58, n. 3, p. 335-361, 2018.

CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. D. O.; MATHIAS, E. D. A.; RAMOA JÚNIOR, A. G. A. Estudo das propriedades físico-químicas e microbiológicas no processamento da farinha de mandioca do grupo d'água. **Food Science and Technology**, v. 27, n. 2, p. 265-269, 2007.

CHISTÉ, R. C.; COHEN, K. D. O.; MATHIAS, E. D. A.; RAMOA JÚNIOR, A. G. A. Qualidade da farinha de mandioca do grupo seca. **Food Science and Technology**, v. 26, n. 4, p. 861-864, 2006.

CLERICI, M. T. P. S.; OLIVEIRA, M. E.; NABESHIMA, E. H. Qualidade física, química e sensorial de biscoitos tipo cookies elaborados com a substituição parcial da farinha de trigo por farinha desengordurada de gergelim. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, SP, v. 16, n. 2, p. 139, 2013.

COELHO, E. M.; AZEVÊDO, L. C.; VIANA, A. C.; RAMOS, I. G.; GOMES, R. G.; LIMA, M. D. S.; UMZA-GUEZ, M. A. Physicochemical properties, rheology and degree of esterification of passion fruit (*Passiflora edulis f. Flavicarpa*) peel flour. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, USA, v. 98, n. 1, p. 166 -173, 2018.

COQUEIRO, A. Y.; PEREIRA, J. R. R.; GALANTE, F. Farinha da casca do fruto de *Passiflora edulis f. flavicarpa* Deg (maracujá-amarelo): do potencial terapêutico aos efeitos

adversos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 18, n. 2, p. 563-569, 2016.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 2, p. 501-510, 2007

COSTA, L. M.; RESENDE, O.; SOUSA, K. A.; GONÇALVES, D. N. Coeficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem de sementes de crambe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 10, p. 1089-1096, 2011.

CUNHA, M. D.C. D. **Efeito da farinha do albedo do maracujá amarelo no controle glicêmico de pessoas com diabetes tipo 2 na atenção primária à saúde**, 2018. Dissertação (Mestrado em Enfermagem) - Programa de Pós-Graduação em Enfermagem, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afrobrasileira, Redenção – CE, 2018.

DE BARROS, F. K. T.; SOUSA, M. D. A.; DOS SANTOS, S. E. B.; RODRIGUES, M. DO C. P. Análise sensorial e elaboração de biscoito amanteigado adicionado de farinha de maracujá (*Passiflora edulis*). **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, Espírito Santo, ES, v. 1, n. 2, p. 4886-4893, 2015.

DE CASTRO, D. S.; NUNES, J. S.; DE MELO SILVA, L. M.; DE SOUSA, F. C.; DA SILVA, W. P.; GOMES, J. P. Secagem de polpa de *Annona Squamosa*: cinética e avaliação de modelos empíricos. **MAGISTRA**, v. 28, n. 3/4, p. 294-300, 2017.

DE OLIVEIRA, E. J.; FALEIRO, F. G.; SOARES, T. L.; GIRARDI, E. A. **Descritores morfoagronômicos ilustrados para *Passiflora* spp.** Embrapa, 2016.

DIAS, L.G. **Aproveitamento da casca do maracujá em formulações de bebidas lácteas saborizadas com boca boa (*Buchenavia tomentosa*) e pera do cerrado (*Eugenia klotzchiana berg*)**. 2016. Dissertação (Mestrado em Nutrição) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Goiania, 2016.

DI DOMENICO, C. N. B.; CONRAD, T. M. Simulação de processos de secagem através dos modelos matemáticos exponencial e de Page, 2015.

DI DOMENICO, C. N. B.; DA SILVA, F. J. N.; FERREIRA, J. A. F. O uso de redes neurais artificiais na otimização do processo de secagem convectiva de alimentos e redução do consumo energético. **ÁGORA Revista Eletrônica**, n. 24, 2017.

DOS SANTOS, V. A.; RAMOS, J. D.; LAREDO, R. R.; DOS REIS SILVA, F. O.; CHAGAS, E. A.; PASQUAL, M. Produção e qualidade de frutos de maracujazeiro-amarelo provenientes do cultivo com mudas em diferentes idades. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 1, p. 33-40, 2017.

DUARTE, S. G.; DE ALMEIDA, F. V.; RABELO, G. B.; VALÉRIO, L. F. D.; GOMES, V. M.; MARQUES, S.; COSTA, M. R. U. Biscoito tipo cookie com adição de farinha de resíduos de frutas. **Exatas Online**, v.12, n.1, p. 23-37.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Maracujá: o produtor pergunta, a Embrapa responde (Coleção 500 perguntas, 500 respostas). Brasília,

2016.

FARIAS, V. S. O. **Difusão 3d em sólidos com forma arbitrária usando coordenadas generalizadas**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Campina Grande, 2011.

FERREIRA, L. F. D.; PIROZI, M. R.; RAMOS, A. M.; PEREIRA, J. A. M. Modelagem matemática da secagem em camada delgada de bagaço de uva fermentado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 6, p. 855-862, 2012.

FERREIRA, M. F. P.; PENA, R. S. Estudo da secagem da casca do maracujá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.12, n.1, p.15- 28, 2010.

FERREIRA, W. S.; SOUZA, M. L. R. Os benefícios do maracujá (*Passiflora* spp.) no Diabetes Mellitus. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 3, n. 6, p. 19523-19539, 2020.

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

FIOREZE, R. Simulação matemática. In: FIOREZE, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. Editora Universitária: João Pessoa, 2004, p. 166.

FREITAS, C. M. P.; RODRIGUES, G. S.; PINHEIRO, M. F.; JESUS SILVA, D.; SOUSA, R. D. C. S. Estudo da cinética de secagem da casca do maracujá (*Passiflora edulis* flavicarpa)/Study of the drying kinetics of passion fruit (*Passiflora edulis* flavicarpa) rind. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 20146-20151, 2019.

FOLCH, J.; LEES, M.; STANLEY, G.H.S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. **Journal of Biological Chemistry**, v. 226, p. 497-509, 1957.

GIBBERT, J.; KREIMENDAHL, F.; LEBERT, J.; RYCHLIK, R.; TROMPETTER, I. Improvement of stress resistance and quality of life of adults with nervous restlessness after treatment with a Passion Flower Dry Extract. **Complementary medicine research**, v. 24, n. 2, p. 83-89, 2017.

GONÇALVES, J. Q.; SILVA, M. A. P.; PLÁCIDO, G. R.; SILVA, M. C.; MARINS, R.; MOURA, L. C.; SOUZA, D. G. Secagem da casca e polpa da banana verde (*Musa acuminata*): propriedades físicas e funcionais da farinha. **Global Science and Technology**, v. 9, n. 3, p. 62-72, 2016.

GONELI, A. L. D.; DO CARMO V. M.; VILHASANTI, H. D. 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.

GONZÁLEZ-GALLEGO, J.; GARCÍA-MEDIAVILLA, M. V.; SÁNCHEZ-CAMPOS, S.; TUÑÓN, M. J. Anti-inflammatory and immunomodulatory properties of dietary flavonoids. In: **Polyphenols in human health and disease**. Academic Press, p. 435-452, 2014.

- GOSS, M. J.; NUNES, M. L. O.; MACHADO, I. D., MERLIN, L.; MACEDO, N. B.; SILVA, A. M. O.; SANTIN, J. R. Peel flour of *Passiflora edulis* Var. *Flavicarpa* supplementation prevents the insulin resistance and hepatic steatosis induced by low-fructose-diet in young rats. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, EUA, v. 102, p. 848-854, 2018.
- GROSSELI, M. M.; MORAES, M. B. D.; DAMACENO, B. D. F.; OKAWABATA, F. S.; TARDIVO, A. C. B.; ALVES, M. J. Q. D. F. Uso da polpa e da casca do maracujá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) sobre o colesterol em coelhos com hipercolesterolemia experimental. **Revista de Pesquisa e Inovação Farmacêutica**, p. 12-20, 2014.
- GUSMÃO, R. P. D.; GUSMÃO, T. A. S.; MOURA, H. V.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M. Caracterização tecnológica de cookies produzidos com diferentes concentrações de farinha de algaroba durante armazenamento por 120 dias. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018.
- HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agriculture Engineering Research**, v.6, n.3, p.169-174, 1961.
- HORTIESCOLHA. **Hortipedia, guia de informações sobre produtos**, São Paulo, 18 jul. 2017. Disponível em: < <http://www.hortiescolha.com.br/hortipedia/produto/maracuja>>. Acesso em: 04 abril 2020.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2018. Produção Agrícola Municipal – PAM. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 20 out. 2019.
- JANZANTTI, N. S.; MONTEIRO, M. HS–GC–MS–O analysis and sensory acceptance of passion fruit during maturation. **Journal of food science and technology**, v. 54, n. 8, p. 2594-2601, 2017.
- JINKINGS, L. M.; GONÇALVEZ, I. S.; DA SILVA, A. S. S. Elaboração da farinha de *Passiflora edulis* Sims (Maracujá amarelo) a partir do exocarpo e o estudo da composição centesimal. **Revista Arquivos Científicos (IMMES)**, v. 3, n. 2, p. 1-7, 2020.
- KALETA, A.; GÓRNICKI, K. Evaluation of drying models of apple (var. McIntosh) dried in a convective dryer. **International journal of food science & technology**, v. 45, n. 5, p. 891-898, 2010.
- KEEY, R. B. **Drying: principles and practice**. Elsevier, v.13, 2013.
- LEÃO, D. P.; LEÃO, D. P.; FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S., BASTOS, R.; COIMBRA, M. A. Physicochemical characterization, antioxidant capacity, total phenolic and proanthocyanidin content of flours prepared from pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) fruit by-products. **Food chemistry**, EUA, v. 225, p. 146-153, 2017.
- LEITE, D. D. F.; DOS SANTOS, F. S.; DA COSTA SANTOS, D.; LISBÔA, J. F.; DE LIMA FERREIRA, J. P.; QUEIROZ, A. J. M. Modelagem matemática da cinética de secagem da casca do abacaxi. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 4, p. 769-774, 2017.

LIMA, A. D. A.; BORGES, A. L.; FANCELLI, M.; CARDOSO, C. E. L Maracujá: sistema de produção convencional. **Embrapa Mandioca e Fruticultura-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2011.

LIMA, A. R. N.; DOS SANTOS, Ê. M. A.; PEREIRA, M. T. L.; DA SILVA JÚNIOR, A. F.; DE OLIVEIRA, T. M. Q.; DE OLIVEIRA FARIAS, V. S.; FRANCO, C. M. R. DE 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**, v. 6, n. 10, p. 74271-74285, 2020.

LIMA, A. R. N.; CÂMARA, G. B.; DE OLIVEIRA, T. K. B.; ALENCAR, W. D.; VASCONCELOS, S. H.; DA CUNHA S. T.; DA CUNHA S. T.; DA SILVA CAVALCANTI, M. Caracterização físico-química e microbiológica de biscoitos confeccionados com farinha de resíduos de frutas. **Research, society and development**, v. 8, n. 11, p. e198111452-e198111452, 2019.

LIMA, D. S.; DUARTE, N. B. A.; BARRETO, D. L. C.; OLIVEIRA, G. P. D.; TAKAHASHI, J. A.; FABRINI, S. P.; SANDE, D. Passion fruit and apple: from residues to antioxidant, antimicrobial and anti-Alzheimer's potential. **Ciência Rural**, v. 48, n. 9, 2018.

LÓPEZ-VARGAS, J. H.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J. A.; VIUDA-MARTOS, M. Chemical, physico-chemical, technological, antibacterial and antioxidant properties of dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products. **Food Research International**, EUA, v. 51, n. 2, p. 756-763, 2013.

MALISKA, C. R. Transferência de calor e mecânica dos fluidos computacional. 2nd. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, Editora S.A.P. 453, 2012.

MANIWARA, P.; NAKANO, K.; BOONYAKIAT, D.; OHASHI, S.; HIROI, M.; TOHYAMA, T. The use of visible and near infrared spectroscopy for evaluating passion fruit postharvest quality. **Journal of Food Engineering**, v. 143, p. 33-43, 2014.

MARTINS, C. R.; TAVARES, J. C.; VASCONCELOS, GC de. Pós colheita de frutas de clima temperado-Parâmetros de acompanhamento da maturação. 2005.

MARTINS, H. F.; DE ALMEIDA CARVALHO, S. S. R.; BISPO, J. A. C.; DE SOUZA, S. M. A.; MARTINEZ, E. A. Maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *Flavicarpa*): cinética da secagem artificial e natural da casca/Yellow passion fruit (*Passiflora edulis* f. *Flavicarpa*): kinetics of artificial and natural drying of the peel. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 11, p. 23234-23245, 2019.

MATIAS, M. F. O.; OLIVEIRA, E. L.; MARGALHÃES, M. M. A.; GERTRUDES, E. Use of fibers obtained from the cashew (*Anacardium occidentale*, L) and guava (*Psidium guayava*) fruits for enrichment of food products. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 8, Special number, p.143-150, 2005.

MAZIERI, M. R.; QUONIAM, L.; SANTOS, A. M. Inovação a partir das informações de patentes: proposição de modelo Open Source de Extração de Informações de Patentes (Crawler). **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 16, n. 1, p. 76-112, 2016.

MELETTI, L. M. M. Avanços na cultura do maracujá no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. SPE1, p. 83-91, 2011.

NASCIMENTO, E. M.; MULET, A.; ASCHERI, J. L. R.; DE CARVALHO, C. W. P.; CÁRCEL, J. A. Effects of high-intensity ultrasound on drying kinetics and antioxidant properties of passion fruit peel. **Journal of Food Engineering**, v. 170, p. 108-118, 2016.

NERDY, N.; RITARWAN, K. Hepatoprotective Activity and Nephroprotective Activity of Peel Extract from Three Varieties of the Passion Fruit (*Passiflora* Sp.) in the Albino Rat. **Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences**, v. 7, n. 4, p. 536, 2019.

OETTERER, M.; D'ARCE, M. A. B. R.; SPOTO, M. H. F. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. Editora Manole Ltda, 2006.

OLIVEIRA, C. F.; GIORDANI, D.; LUTCKEMIER, R.; GURAK, P. D.; CLADERA-OLIVERA, F.; MARCZAK, L. D. F. Extraction of pectin from passion fruit peel assisted by ultrasound. **LWT-Food Science and Technology**, v. 71, p. 110-115, 2016a.

OLIVEIRA, C. F.; GURAK, P. D.; CLADERA-OLIVERA, F.; MARCZAK, L. D. F. Evaluation of physicochemical, technological and morphological characteristics of powdered yellow passion fruit peel. **International Food Research Journal**, v. 23, n. 4, 2016b.

OLIVEIRA, R. A.; OLIVEIRA, W. P.; PARK, K. J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 181-189, 2006.

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum of air drying shelled corn in thin layer**. 1949. (Thesis Master's) - Purdue University, EUA, 1949.

PATANKAR, S.V. Numerical heat transfer and fluid flow. **Hemisphere Publishing Corporation**, p.225, 1980.

PELEG, M. An Empirical Model for the Description of Moisture Sorption Curves. **Journal of Food Science**, v.53, n.4, p.1216–1217, 1988.

PEREZ, P. M. P.; GERMANI, R. Elaboração de biscoitos tipo salgado, com alto teor de fibra alimentar, utilizando farinha de berinjela (*Solanum melongena*, L.). **Food Science and Technology**, v. 27, n. 1, p. 186-192, 2007.

PINHEIRO, R. M. M. **Algoritmos de otimização e modelos analíticos para a descrição da desidratação de melão cortado em forma de cubo**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2017.

PRESS, W. H.; TEUKOLSKY, S. A.; VETTERLING, W. T.; FLANNERY, B. P. Numerical recipes in Fortran 77. The art of scientific computing. **Cambridge University Press**, v. 1, p. 933, 1992.

RAMOS, S. A.; SILVA, M. R.; JACOBINO, A. R.; DAMASCENO, I. A. N.; RODRIGUES, S. M.; CARLOS, G. A.; ROCHA, V.N.; AUGUSTI, R.; MELO, J. O. F.; CAPOBIANGO, M.

Caracterização físico-química, microbiológica e da atividade antioxidante de farinhas de casca e amêndoa de manga (*Mangifera indica*) e sua aplicação em brownie. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e22310212436-e22310212436, 2021.

REIS, L. C. R.; FACCO, E. M. P.; SALVADOR, M.; FLÔRES, S. H.; DE OLIVEIRA RIOS, A. Antioxidant potential and physicochemical characterization of yellow, purple and orange passion fruit. **Journal of food science and technology**, v. 55, n. 7, p. 2679-2691, 2018.

RUSSEL, N. J.; GOULD, G. W. Food preservatives. Nova York, EUA: Library of Congress, 2003.

RUIZ-LÓPEZ, I. I.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, C. E.; COBOS-VIVALDO, R.; HERMANLARA, E. Mathematical modeling and simulation of batch drying of foods. **Journal of Food Engineering**, v. 89, p. 310-318, 2008.

SANTANA, F. D.; SILVA, J. D.; ALVES, A.; SANTOS, A.; WARTHA, E. R. D. S. A.; MARCELLINI, P. S.; SILVA, M. A. A. P. D. Desenvolvimento de biscoito rico em fibras elaborado por substituição parcial da farinha de trigo por farinha da casca do maracujá amarelo (*Passiflora Edulis Flavicarpa*) e fécula de mandioca (*Manihot Esculenta* Crantz). **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 22, n. 3, p. 391-399, 2012.

SANTOS, F. S. D.; DE FIGUEIRÊDO, R. M.; QUEIROZ, A. J. D. M.; SANTOS, D. 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, N. C.; LEITE, D. D. F.; CÂMARA, G. B.; BARROS, S. L.; DOS 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. Mathematical modeling of drying kinetics of grapefruit peels (*Citrus paradisi* Macf.). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. 61911609, 2020.

SAYKOVA, I.; CWICKLINSKI, G.; CASTELLE, P. Analytical approach for predicting effective diffusion coefficients in multidimensional slab geometry. **Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy**, v. 44, 1, p. 44-49, 2009.

SELANI, M. M.; BRAZACA, S. G. C.; DIAS, C. T. S.; RATNAYAKE, W. S.; FLORES, R. A.; BIANCHINI, A. Characterization and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement. **Food Chemistry**, v. 163, p. 23-30, 2014.

SILVA, A. S.; ALMEIDA, F. D. A.; SILVA, F. D.; DANTAS, H. J.; LIMA, E. D. Desidratação e efeito de pré-tratamentos no extrato seco do pimentão verde. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 1, p. 27-34, 2008.

SILVA, C. M. D. P. S. **Ferramentas analíticas e numéricas para a descrição da secagem de sólidos na forma de cilindros e de elipsóides**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2012.

SILVA, D. C.; FREITAS, A. L.; PESSOA, C. D.; PAULA, R. C.; MESQUITA, J. X.; LEAL,

L. K.; VIANA, G. S. Pectin from *Passiflora edulis* shows anti-inflammatory action as well as hypoglycemic and hypotriglyceridemic properties in diabetic rats. **Journal of medicinal food**, EUA, v. 14, n. 10, p. 1118-1126, 2011.

SILVA, E. C. O.; SILVA, W. P.; GOMES, J. P.; SILVA, C. M. D. P. S.; ALEXANDRE, H. V.; FARIAS, V. S. O.; MELO, B. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUIREDO, R. M. F. Drying of Albedo and Whole Peel of Yellow Passion Fruit. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 6, 2019a.

SILVA, E. C. O.; SILVA, W. P.; GOMES, J. P.; SILVA, C. D. D. S.; SOUTO, L. M. D.; COSTA, Z. R. Physico-chemical characteristics of passion fruit flour under removal of flavedo and of maceration. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 11, p. 869-875, 2019b.

SILVA, E. F. M. **Modelos empíricos e difusivos para a descrição da secagem de bananas**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2013.

SILVA JUNIOR, A. F. **Desenvolvimento de ferramentas numéricas e computacionais para a descrição de transferência de massa em corpos cilíndricos: aplicação em desidratação osmótica e secagem complementar de banana**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2015.

SILVA JÚNIOR, A. F.; SILVA, W. P. Desidratação Osmótica e Secagem Complementar de Fatias de Banana. *Novas Edições Acadêmicas*, Campina Grande, PB, p.21, 2018.

SILVA, L. D.; DA SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S.; FARIAS, V. S. O. Descrição da secagem de placas cerâmicas por meio de um modelo de difusão. **Cerâmica**, v. 59, n. 351, p. 409-416, 2013a.

SILVA, N. C.; DUARTE, C. R.; BARROZO, M. A. Effects of dehydration methods on quality characteristics of yellow passion fruit co-products. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 14, p. 4750-4759, 2017.

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

SILVA, V. S. **Transferência de calor e massa em materiais com forma complexa via método da análise concentrada. Estudo de caso: secagem de materiais cerâmicos**, 2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Programa de Pós-Graduação Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2016.

SILVA, W. P.; AMARAL, D. S.; DUARTE, M. E. M.; MATA, M. E.; SILVA, C. M., PINHEIRO, R. M.; PESSOA, T. Description of the osmotic dehydration and convective drying of coconut (*Cocos nucifera* L.) pieces: a three-dimensional approach. **Journal of Food Engineering**, v. 115, n. 1, p. 121-131, 2013b.

SILVA, W. P.; MEDEIROS, M. S.; GOMES, J. P.; SILVA, C. M. D. P. S. Improvement of methodology for determining local thermal diffusivity and heating time of green coconut pulp during its pasteurization. **Journal of Food Engineering**, p. 110104, 2020a.

SILVA, W. P.; SILVA, C.M.D.P.S.; AIRES, J. E. F.; SILVA JUNIOR, A. F. Osmotic dehydration and convective drying of coconut slices: Experimental determination and description using one-dimensional diffusion model. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 13, n. 2, p. 162-168, 2014.

SILVA, W.P.; SILVA, C. M. D. P. S. **Lab fit curve fitting software, V.7.2.46** (2009). Disponível em: <www.labfit.net>.

SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S. **LS Optimizer, Versão 5.1** (2017). Disponível em: <<http://zeus.df.ufcg.edu.br/labfit/LS.htm>>. Acessado em 08 de maio de 2020.

SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P.S.; PRECKER, J. W.; GOMES, J. P.; NASCIMENTO, P. L.; SILVA, L. D.; NASCIMENTO, P. L. Diffusion models for the description of seedless grape drying using analytical and numerical solutions, 2012.

SILVA, W.; SILVA, C. M. D. P. S.; RODRIGUES, A. F.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. One-dimensional numerical solution of the diffusion equation to describe wood drying: comparison with two-and three-dimensional solutions. **Journal of wood science**, v. 61, n. 4, p. 364-371, 2015.

SOUSA, E. P.; FIGUEIRÊDO, R. M.; GOMES, J. P.; QUEIROZ, A. J. D. M.; CASTRO, D. S. D.; LEMOS, D. M. Mathematical modeling of pequi pulp drying and effective diffusivity determination. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 7, p. 493-498, 2017.

SOUSA, K. A. D.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H.; COSTA, L. M. Cinética de secagem do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 883-892, 2011.

SOUZA, M.; FERREIRA, T. B.; VIEIRA, I. F. Composição centesimal e propriedades funcionais tecnológicas da farinha da casca do maracujá. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 19, n. 1, p. 33-36, 2008.

STORCK, C. R.; LORENZONI, N. G.; BORDIN, O. B.; BASSO, C. Folhas, talos, cascas e sementes de vegetais: composição nutricional, aproveitamento na alimentação e análise sensorial de preparações. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 43, n. 3, 2013.

Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA). Tabelas Complementares – Perfil de carboidratos. Universidade de São Paulo (USP). Food Research Center (FoRC). Versão 7.0. São Paulo, 2019. Disponível em:<http://www.fct.usp.br/tbca>. Acesso em: 20 jun. 2020.

THOMPSON, T. L.; PEART, R. M.; FOSTER, G. H. Mathematical simulation of corn drying: A new model. **Transactions of ASAE**, v.11, n.4, p.582-586, 1968.

TOZATTI, P.; RIGO, M.; BEZERRA, J. R. M. V.; CÓRDOVA, K. R. V.; TEIXEIRA, A. M. Utilização de resíduo de laranja na elaboração de biscoitos tipo cracker. **Revista Ciências**

Exatas e Naturais, Curitiba, PR, v. 15, n. 1, p. 135-150, 2013.

TUDO SOBRE PLANTAS. **Banco de plantas notáveis. *Passiflora edulis***. Disponível em: <https://www.tudosobreplantas.com.br/asp/plantas/ficha.asp?id_planta=19542>. Acesso em: 02 abril 2020.

VASCONCELOS, M. A. S.; FILHO, A. B. M. Conservação de alimentos. 2016.

VIANA, A. C. Produção de farinha do resíduo industrial da acerola por secagem solar e artificial. **Revista Semiárido De Visu**, v. 7, n. 1, p. 24-33, 2019.

VIEIRA, T. D. S.; FREITAS, F. V.; SILVA, L. A. A.; BARBOSA, W. M.; SILVA, E. M. M. D. Efeito da substituição da farinha de trigo no desenvolvimento de biscoitos sem glúten. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 18, n. 4, p. 285-292, 2015.

VILELA, C. A. A.; ARTUR, P. O. Secagem do açafrão (*Curcuma longa* L.) em diferentes cortes geométricos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, p.387-394, 2008.

VUOLO, M. M.; LIMA, G. C.; BATISTA, Â. G.; CARAZIN, C. B. B.; CINTRA, D. E.; PRADO, M. A.; JÚNIOR, M. R. M. Passion fruit peel intake decreases inflammatory response, reverts lipid peroxidation and adiposity in diet-induced obese rats. **Nutrition Research**, 2019.

WANG, C. Y.; SINGH, R. P. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. **Transactions of American Society of Agricultural Engineers**, v. 11, n. 6, p. 668-672, 1978.

WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION. Disponível em: <https://www.wipo.int/classifications/ipc/ipcpub/?notion=scheme&version=20190101&symbol=none&menulang=en&lang=en&viewmode=f&fipcp=no&showdeleted=yes&indexes=no&headings=yes¬es=yes&direction=02n&initial=A&cwid=none&tree=no&searchmode=smart>. Acesso: 20 de out. 2019.

ZERAIK, M. L.; PEREIRA, C. A.; ZUIN, V. G.; YARIWAKE, J. H. Passion fruit: a functional food?. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, n. 3, p. 459-471, 2010.