



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

MARIA TEREZA LUCENA PEREIRA

DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM CONVECTIVA DA CASCA DO
MELÃO (*Cucumis melo L.*): MODELAGEM MATEMÁTICA E CARACTERIZAÇÃO
FÍSICO-QUÍMICA DAS FARINHAS OBTIDAS

Cuité – PB

2021

MARIA TEREZA LUCENA PEREIRA

**DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM CONVECTIVA DA CASCA DO
MELÃO (*Cucumis melo L.*): MODELAGEM MATEMÁTICA E CARACTERIZAÇÃO
FÍSICO-QUÍMICA DAS FARINHAS OBTIDAS**

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): Profa. Dr^a. Vera Solange de Oliveira Farias.

Coorientadora: Profa. Dr^a. Vanessa Bordin Vieira.

Cuité-PB

2021

P436d

Pereira, Maria Tereza Lucena.

Desidratação osmótica e secagem convectiva da casca do melão (*Cucumis melo L.*): modelagem matemática e caracterização físico-química das farinhas obtidas. / Maria Tereza Lucena Pereira. - Cuité, 2021.

88 f. : il. Color.

Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais e Biotecnologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Educação e Saúde, 2021.

"Orientação: Profa. Dra. Vera Solange de Oliveira Farias";
"Coorientação: Profa. Dra. Vanessa Bordin Vieira".

Referências.

1. Melão - casca - secagem. 2. Desidratação osmótica. 3. Secagem convectiva. 4. Modelagem matemática. 5. Farinha - características físico-químicas. 6. *Cucumis melo L.* 7. Tecnologia de alimentos. I. Farias, Vera Solange de Oliveira. II. Vieira, Vanessa Bordin. III. Título.

CDU 635.611(043)

“DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM CONVECTIVA DA CASCA DO MELÃO (*Cucumis melo L.*): MODELAGEM MATEMÁTICA E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS FARINHAS OBTIDAS”

MARIA TEREZA LUCENA PEREIRA

Dissertação Aprovada em 05/04/2021 pela Banca Examinadora constituída dos seguintes membros:



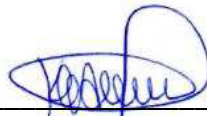
Dra. Vera Solange de Oliveira Farias
Orientadora
UAFM/CES/UFCG



Dra. Vanessa Bordin Vieira
Coorientadora
UAS/CES/UFCG



Dr. Aluizio Freire da Silva Júnior
Examinador Interno
UAFM/CES/UFCG



Dra. Kalina Lígia Cavalcante de Almeida Farias Aires
Examinadora Externa
IFPB

À minha avó Maria da Paz Cavalcante de
Lucena Albuquerque (*in memoriam*),

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço, com todas as forças que existem em meu coração, ao meu Deus, que sempre foi, é, e sempre será, a minha fortaleza, o meu suporte, o meu socorro bem presente. À minha mãe, Virgem Maria, por sua intercessão, cuidado e proteção. À minha melhor amiga e conselheira, Santa Terezinha do Menino Jesus. Ao meu mentor de sabedoria, Divino Espírito Santo. A todos os Santos, anjos e bons espíritos que me rodeiam.

À minha mãe Gilvaneide Gomes de Lucena, que é a luz da minha vida, minha inspiração, meu maior amor aqui na terra, meu ponto de equilíbrio, meus pés e minhas mãos, a vida que dá sentido à minha vida. Ao meu pai, Amaury Ramos Pereira, homem íntegro, forte e sábio, que detém de toda minha admiração. À minha irmã, Anna Clara Lucena Pereira, que é a minha metade enviada diretamente do céu.

Aos meus avós Maria Cavalcante, Teresinha Ramos, Gilvan Albuquerque e Agripino Pereira (todos *in memoriam*) por, sem dúvidas, permanecerem cuidando de mim.

À minha orientadora-mãe Vera Solange de Oliveira Farias, por toda dedicação, empenho, cuidado e carinho destinados a este trabalho e, sobretudo, à minha pessoa. Tê-la como condutora durante esses dois anos de mestrado foi, sem dúvidas, a minha MAIOR sorte. Serei eternamente grata por nossos caminhos terem se cruzado.

Ao professor Aluízio Freire, por toda atenção, contribuição, suporte e disponibilidade em TODAS as vezes em que precisei. Sinto-me honrada em ter sido acompanhada por este grande profissional e ser humano.

À professora Vanessa Bordin Vieira por sua solicitude e contribuição para a realização deste trabalho. Sinto-me honrada por ter tido o suporte deste grande exemplo de professora, nutricionista e pessoa.

À minha amiga-irmã Amélia Ruth Nascimento Lima por todo companheirismo, amizade, dedicação, cuidado e zelo destinados a este trabalho e, principalmente, à minha pessoa. Mesmo que eu agradecesse todos os dias, enquanto vida eu tiver, não seria suficiente para expressar o quanto sou grata. Mil vezes obrigada por viver intensamente comigo esse mestrado, sem você, certamente, não teria sido possível.

À minha turma 2019.1 – Ivânia Samara, Mikael Ribeiro, Amélia Ruth, Rodrigo Ribeiro, Carlos Medeiros, Amanda Costa, Alana Karoline, José Vinícius, Yam Santos, Henriqueta Monalisa, Letícia Sousa: MUITO OBRIGADA POR TUDO! A experiência da pós-graduação, na companhia de cada um, se tornou mais leve, feliz e colorida. Ainda bem que foi com vocês!

À Isaac, Marcília, Ivo, Êmyle e Geovane por toda parceria, auxílio e contribuição na

parte prática desta pesquisa. À Carlos Eduardo Dantas, em nome dos demais funcionários dos laboratórios de nutrição da UFCG, por toda paciência, solicitude, profissionalismo e conhecimento repassado.

À minha preceptora de estágio à docência, Profa. Camila Carolina Bertozzo por me permitir viver uma das experiências mais enriquecedoras da minha vida acadêmica, e por partilhar (com tanto carinho, amor e atenção) sua enorme sabedoria.

À Profa. Kalina Lígia Cavalcante de Almeida Farias Aires, por ter aceito o convite para participar da banca e pelas valiosíssimas considerações feitas ao trabalho.

Ao PPGCN-Biotec, em nome da professora Magnólia Campos, pelo acolhimento. À Herbert Henrique, nosso querido e eterno secretário que, com muita empatia, me ajudou incansavelmente durante sua permanência no programa. À Midian Matos que, mesmo não me conhecendo pessoalmente, não mediu esforços para ajudar.

À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) *campus* Cuité, por ter sido o meu lar durante sete anos e quatro meses, por todo suporte, por todo acolhimento. A todos os professores da graduação e do mestrado, pelos conhecimentos compartilhados; levo cada um em meu coração e guardo todos os ensinamentos. A cada funcionário que faz desta instituição uma realidade, por todo profissionalismo, empatia e prestatividade. Se eu pudesse escolher novamente, sem dúvidas, esta instituição seria o meu destino!

Ao município de Cuité, por me acolher como filha, e por ter possibilitado o meu amadurecimento pessoal e profissional.

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

Sou gratinhão da cabeça aos pés!

*“Sou de tal natureza que o temor me faz
recuar; com o amor não somente avanço,
mas voo...”*

-Santa Teresinha do Menino Jesus.

PEREIRA, Maria Tereza Lucena. **Desidratação osmótica e secagem convectiva da casca do melão (*Cucumis melo* L.): modelagem matemática e caracterização físico-química das farinhas obtidas**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais e Biotecnologia) – Programa de Pós-graduação em Ciências Naturais e Biotecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Cuité, 2021.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo realizar o estudo da secagem convectiva da casca do melão sob as temperaturas de 60 e 70°C, com e sem o pré-tratamento de desidratação osmótica para as ambas condições de secagem, bem como, realizar a caracterização físico-química das farinhas obtidas. O procedimento de desidratação osmótica foi realizado em temperatura ambiente durante um período pré-determinado de 35 horas, utilizando uma solução contendo sacarose em uma concentração de 20°Brix. A secagem, por sua vez, foi realizada em uma estufa de circulação forçada de ar, nas temperaturas já aludidas, para as amostras osmoticamente desidratadas e sem o pré-tratamento. Para a descrição da cinética de secagem foram utilizados modelos empíricos, um modelo de difusão, considerando-se o encolhimento e a difusividade de massa variável. A solução numérica da equação de difusão unidimensional, em coordenadas cartesianas, foi obtida através do método dos volumes finitos, com uma formulação totalmente implícita, com condição de contorno de terceiro tipo. Para eleger o modelo matemático que descreveu de forma mais satisfatória a cinética de secagem das cascas do melão, foram considerados os parâmetros de Coeficiente de Determinação e Qui-quadrado, além do ajuste das curvas através das representações gráficas. Após o procedimento de secagem para as quatro condições experimentais, foram elaboradas quatro formulações de farinhas, as quais foram, posteriormente, caracterizadas através das análises físico-químicas de umidade, cinzas, atividade de água e lipídeos. De acordo com os resultados obtidos, foi possível verificar que a desidratação osmótica proporcionou o aumento do ganho de sólidos ao produto, bem como, a redução do teor de umidade e de espessura iniciais, além do aumento do teor de umidade de equilíbrio. Dentre os modelos empíricos, o de Page foi eleito como o de maior confiabilidade para descrever o processo. O modelo difusivo, por sua vez, apresentou os melhores resultados para os parâmetros avaliados, sendo, inclusive, superior aos empíricos, portanto, foi considerado o mais satisfatório. Quanto aos resultados da difusividade efetiva de massa e do coeficiente de transferência convectiva de massa, foi percebido que o aumento dos respectivos valores foi consonante ao aumento da temperatura de secagem. Com relação à caracterização físico-química das farinhas, apenas os teores de umidade das amostras que não foram

submetidas ao pré-tratamento de desidratação osmótica foram adequados, segundo à norma vigente. Quanto à análise de cinzas, as amostras que não foram pré-desidratadas apresentaram os maiores teores. Ao que se refere à atividade de água, todas as amostras apresentaram resultados adequados, já que foram menores que 0,6%. Na análise de lipídeos, como esperado, foram obtidos resultados discretos.

Palavras-chave: Modelos empíricos; Modelos difusivos; Solução numérica; *Cucumis melo L.*; Tecnologia de alimentos.

PEREIRA, Maria Tereza Lucena. **Osmotic dehydration and convective drying of melon peels (*Cucumis melo* L.): Mathematical modeling and physico-chemical characterization of the flours obtained.** 2021. Dissertation (Master in Natural Sciences and Biotechnology) - Postgraduate Program in Natural Sciences and Biotechnology, Federal University of Campina Grande, Cuité, 2021.

ABSTRACT

The present work aimed to study the melon peel convective drying under temperatures of 60 and 70°C, with and without the osmotic dehydration pre-treatment for both drying conditions, as well as to perform the physical-chemical characterization of the flours obtained. The osmotic dehydration procedure was carried out at room temperature for a predetermined period of 35 hours, using a solution containing sucrose in a concentration of 20°Brix. The drying, in turn, was carried out in an oven with forced air circulation, at the temperatures already mentioned, for the samples osmotically dehydrated and without pre-treatment. For the description of drying kinetics, empirical models were used, a diffusion model, considering shrinkage and variable mass diffusivity. The numerical solution of the one-dimensional diffusion equation, in Cartesian coordinates, was obtained through the finite volume method, with a totally implicit formulation, with a third type boundary condition. To choose the mathematical model that most satisfactorily described the drying kinetics of the melon skins, the parameters of Coefficient of Determination and Chi-square were considered, in addition to the adjustment of the curves through the graphical representations. After the drying procedure for the four experimental conditions, four flour formulations were elaborated, which were subsequently characterized through physical-chemical analyzes of moisture, ash, water and lipid activity. According to the results obtained, it was possible to verify that osmotic dehydration provided an increase in the gain of solids to the product, as well as a reduction in the initial moisture content and thickness, in addition to an increase in the equilibrium moisture content. Among the empirical models, Page's was chosen as the most reliable to describe the process. The diffusive model, in turn, presented the best results for the evaluated parameters, being even superior to the empirical ones, therefore, it was considered the most satisfactory. As for the results of the effective mass diffusivity and the convective mass transfer coefficient, it was noticed that the increase in the respective values was in line with the increase in the drying temperature. Regarding the physical-chemical characterization of the flours, only the moisture content of the samples that were not subjected to the osmotic dehydration pre-treatment was adequate, according to the current standard. As for ash analysis, samples that were not pre-dehydrated had the highest

levels. With regard to water activity, all samples showed adequate results, since they were less than 0.6%. In the analysis of lipids, as expected, discrete results were obtained.

Keywords: Empirical models; Diffusive models; Numerical solution; *Cucumis melo L.*; Food Technology.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|----------------------|---|----|
| Figura 2.1 – | Tipos de melão (<i>Cucumis melo L.</i>) produzidos no Brasil: (a) Melão amarelo; (b) melão pele de sapo; (c) Melão honeydew; (d) Melão cantaloupe; (e) Melão gália; (f) Melão charentais..... | 23 |
| Figura 2.2 – | Estrutura física do melão..... | 24 |
| Figura 2.3 – | Distribuição das patentes por ano de publicação..... | 30 |
| Figura 2.4 – | Panorama das patentes por país depositante..... | 31 |
| Figura 2.5 – | Classificação por código IPC para “ <i>melon peel</i> ”..... | 32 |
| Figura 2.6 – | Esquema do fluxo de transferência de massa durante o processo de desidratação osmótica..... | 33 |
| Figura 2.7 – | Diagrama do processo de secagem..... | 36 |
| Figura 2.8 – | Curva de secagem..... | 36 |
| Figura 2.9 – | Representação esquemática de uma parede infinita..... | 43 |
| Figura 2.10 – | Representação da condição de contorno convectiva (terceiro tipo)..... | 44 |
| Figura 3.1 – | Representação dos melões utilizados para a realização dos experimentos..... | 46 |
| Figura 3.2 – | Fluxograma do processamento das amostras de cascas de melão..... | 47 |
| Figura 3.3 – | Cascas de melão durante o pré-tratamento de desidratação osmótica..... | 48 |
| Figura 3.4 – | Amostras destinadas à secagem convectiva: (a) Cascas de melão utilizadas para análise de massa; (b) Cascas de melão utilizadas para análise de encolhimento..... | 50 |
| Figura 3.5 – | Representação dos domínios (sem escala): (a) domínio físico; (b) domínio contínuo; (c) domínio discretizado..... | 52 |
| Figura 4.1 – | Curvas do ajuste de Wang e Singh aos dados experimentais do teor de umidade adimensional das cascas de melão, em função do tempo em segundos: (a) 60°C sem desidratação osmótica; (b) 70°C sem desidratação osmótica; (c) 60°C com desidratação osmótica; (d) 70°C com desidratação osmótica..... | 63 |
| Figura 4.2 – | Curvas do ajuste de Page aos dados experimentais do teor de umidade adimensional das cascas de melão, em função do tempo em segundos: (a) 60°C sem desidratação osmótica; (b) 70°C sem desidratação osmótica; (c) 60°C com desidratação osmótica; (d) 70°C com desidratação osmótica..... | 64 |
| Figura 4.3 – | Gráficos da cinética de secagem de cascas de melão através de solução numérica nas condições experimentais de: (a) 60 °C sem desidratação osmótica; (b) 70 °C | |

| | | |
|-------------------|--|----|
| | sem desidratação osmótica; (c) 60 °C com desidratação osmótica; (d) 70 °C com desidratação osmótica..... | 68 |
| Figura 4.4 | – Comparação da simulação da cinética de secagem dos quatro experimentos..... | 69 |
| Figura 4.5 | – Gráficos de contorno (sem escala), mostrando a distribuição de umidade dentro dos produtos para T = 60 °C sem desidratação osmótica para os instantes: (a) 3600s; (b) 9000s; (c) 21600s; (d) 32400s..... | 70 |
| Figura 4.6 | – Gráficos de contorno (sem escala), mostrando a distribui o de umidade dentro dos produtos para T = 70 °C sem desidrata o osmótica para os instantes: (a) 3465 s; (b) 9000 s; (c) 20790 s; (d) 27720 s..... | 70 |
| Figura 4.7 | – Gráficos de contorno (sem escala), mostrando a distribui o de umidade dentro dos produtos para T = 60 °C com desidrata o osmótica para os instantes: (a) 3420 s; (b) 8550 s; (c) 16420 s; (d) 23940 s..... | 71 |
| Figura 4.8 | – Gráficos de contorno (sem escala), mostrando a distribui o de umidade dentro dos produtos para T = 70 °C com desidrata o osmótica para os instantes: (a) 3240 s; (b) 6480 s; (c) 10370 s; (d) 21060 s..... | 72 |
| Figura 4.9 | – (a) FCMSD 60°C; (b) FCMSD 70°C; (c) FCMCD 60°C; (d) FCMCD 70°C..... | 73 |

LISTA DE TABELAS

| | | | |
|-------------------|---|---|----|
| Tabela 2.1 | – | Composição química em 100g de melão in natura..... | 24 |
| Tabela 2.2 | – | Principais instituições responsáveis pelo desenvolvimento de tecnologias com cascas de melão em âmbito mundial..... | 31 |
| Tabela 2.3 | – | Modelos empíricos frequentemente utilizados na descrição da secagem de produtos agrícolas..... | 40 |
| Tabela 3.1 | – | Modelos empíricos para descrever a cinética de secagem..... | 51 |
| Tabela 4.1 | – | Incorporação da sacarose após o procedimento de desidratação osmótica..... | 58 |
| Tabela 4.2 | – | Dados experimentais das secagens da casca do melão..... | 60 |
| Tabela 4.3 | – | Parâmetros de ajuste dos modelos empíricos aos dados experimentais da secagem | 60 |
| Tabela 4.4 | – | Evolução da espessura em função da razão de umidade média..... | 65 |
| Tabela 4.5 | – | Resultados da otimização: parâmetros ótimos e indicadores estatísticos..... | 66 |
| Tabela 4.6 | – | Caracterização físico-química das farinhas da casca do melão..... | 73 |

LISTA DE SÍMBOLOS

a, b, c, n – Coeficiente dos modelos

A_w – Atividade de água

D – Difusividade de massa efetiva

E₀ – Espessura inicial

E_{eq} – Espessura final

g – Gramas

k, k₀ e k₁ – constantes de secagem em min⁻¹

M – Teor de umidade em base seca

M_{eq} – Teor de umidade de equilíbrio

M_i – Teor de umidade inicial

R² - Coeficiente de determinação

R_u – razão de umidade do produto

t – Tempo de secagem

\vec{v} - Vetor velocidade do meio

x – Coordenada cartesiana da posição (m)

$\lambda \Gamma \Phi$ – Coeficientes de transporte

Φ – Variável dependente de interesse

χ^2 - Qui-quadrado

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C – Antes de Cristo

ANOVA – Análise de Variância

AOAC – Association of Official Agricultural Chemists

CES – Centro de Educação e Saúde

CMCDO 60°C – Casca do Melão Com Desidratação Osmótica – secagem a 60°C

CMCDO 70°C – Casca do Melão Com Desidratação Osmótica – secagem a 70°C

CMSDO 60°C – Casca do Melão Sem Desidratação Osmótica – secagem a 60°C

CMSDO 70°C – Casca do Melão Sem Desidratação Osmótica – secagem a 70°C

FAO – Food Agriculture Organization

FCMCDO 60°C – Farinha da Casca do Melão Com Desidratação Osmótica – secagem a 60°C

FCMCDO 70°C – Farinha da Casca do Melão Com Desidratação Osmótica – secagem a 70°C

FCMSDO 60°C – Farinha da Casca do Melão Sem Desidratação Osmótica – secagem a 60°C

FCMSDO 70°C – Farinha da Casca do Melão Sem Desidratação Osmótica – secagem a 70°C

LABROM – Laboratório de Bromatologia

LATED – Laboratório de Técnica Dietética

LTA – Laboratório de Tecnologia de Alimentos

MDF – Método das Diferenças Finitas

MEF – Método dos Elementos Finitos

MVF – Método dos Volumes Finitos

RDC – Resolução da Diretoria Colegiada

RMF – Resíduo Mineral Fixo

UFMG – Universidade Federal de Campina Grande

var – Variação

VC – Volumes de Controle

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 18 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA | 19 |
| 1.2 OBJETIVO GERAL..... | 20 |
| 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 20 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 22 |
| 2.1 ASPECTOS GERAIS DO MELÃO (<i>Cucumis melo L.</i>)..... | 22 |
| 2.2 IMPORTÂNCIA DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS | 25 |
| 2.3 CASCA DO MELÃO (<i>Cucumis melo L.</i>) | 26 |
| 2.3.1 Propriedades nutricionais e benefícios | 26 |
| 2.3.2 Possibilidades de emprego biotecnológico..... | 28 |
| 2.4 MONITORAMENTO DA GERAÇÃO DE TECNOLOGIAS UTILIZANDO CASCAS DO MELÃO | 29 |
| 2.5 TÉCNICAS DE CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS..... | 32 |
| 2.5.1 Desidratação Osmótica | 33 |
| 2.5.2 Secagem: aspectos gerais | 34 |
| 2.5.2.1 Fenômeno da secagem..... | 35 |
| 2.5.2.2 Teorias da secagem..... | 37 |
| 2.5.2.3 Teor de umidade | 38 |
| 2.6 MODELAGEM MATEMÁTICA NO PROCESSO DE SECAGEM..... | 38 |
| 2.6.1 Modelos empíricos | 39 |
| 2.6.2 Modelos difusivos | 41 |
| 2.6.2.1 Geometria: parede infinita | 42 |
| 2.6.2.2 Condição de contorno: convectiva (terceiro tipo) | 43 |
| 2.6.2.3 Soluções para a equação de difusão | 44 |
| 2.6.2.3.1 Soluções analíticas..... | 44 |
| 2.6.2.3.2 Solução numérica | 44 |
| 3 METODOLOGIA..... | 46 |
| 3.1 LOCAL DA PESQUISA | 46 |
| 3.2 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA | 46 |
| 3.3 PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS | 46 |
| 3.4 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA | 47 |
| 3.5 SECAGEM CONVECTIVA | 49 |
| 3.6 MODELAGEM MATEMÁTICA | 50 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.6.1 | Descrição da cinética de secagem através de modelos empíricos | 50 |
| 3.6.2 | Descrição da cinética de secagem através de modelos difusivos | 51 |
| 3.6.2.1 | Solução numérica para a condição de contorno de terceiro tipo | 52 |
| 3.6.2.2 | Volumes de controle interno..... | 53 |
| 3.6.2.3 | Volumes de controle 1 | 53 |
| 3.6.2.4 | Volumes de controle N | 54 |
| 3.6.2.5 | Difusividade de massa e encolhimento | 55 |
| 3.6.2.6 | Algoritmo de otimização usando solução numérica..... | 56 |
| 3.7 | ELABORAÇÃO DAS FARINHAS DA CASCA DO MELÃO..... | 56 |
| 3.7.1 | Caracterização físico-química das farinhas da casca do melão | 57 |
| 3.7.1.1 | Determinação da umidade | 57 |
| 3.7.1.2 | Determinação de cinzas ou resíduo mineral fixo (RMF) | 58 |
| 3.7.1.3 | Determinação da atividade de água (A_w)..... | 58 |
| 3.7.1.4 | Determinação de lipídeos | 58 |
| 3.8 | ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 59 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 59 |
| 4.1 | DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA | 59 |
| 4.2 | DADOS EXPERIMENTAIS DA SECAGEM..... | 60 |
| 4.3 | MODELOS EMPÍRICOS UTILIZADOS NA MODELAGEM DOS DADOS EXPERIMENTAIS | 61 |
| 4.4 | MODELOS DIFUSIVOS UTILIZADOS NA MODELAGEM DOS DADOS EXPERIMENTAIS | 64 |
| 4.4.1 | OTIMIZAÇÃO E SIMULAÇÃO ATRAVÉS DE SOLUÇÃO NUMÉRICA..... | 65 |
| 4.5.1 | Distribuição de umidade no interior do produto..... | 69 |
| 4.5 | ELABORAÇÃO DAS FARINHAS DA CASCA DO MELÃO..... | 72 |
| 4.5.1 | Caracterização físico-química das farinhas da casca do melão | 73 |
| 5 | CONCLUSÃO..... | 75 |
| | REFERÊNCIAS | 77 |

1 INTRODUÇÃO

Dentre as frutas altamente produzidas e exportadas no Brasil, o melão (*Cucumis melo L.*), que é um dos principais integrantes da família *Curcubitaceae*, merece um grande destaque. Sua popularidade está atrelada ao seu perfil nutricional e às suas características sensoriais, formadas por textura macia, aroma agradável e sabor adocicado, que fazem com que a fruta seja vastamente consumida em sua forma *in natura*, em saladas e em sucos, além de ser bastante utilizada pela indústria alimentícia na produção de sorvetes, polpas, iogurtes e geleias (MARYANTO; DARYONO, 2011; TUAN et al., 2019).

A grande preocupação, segundo Vella, Cautela e Laratta (2019), é que após o consumo ou processamento industrial, são geradas excessivas quantidades de cascas e sementes, que geralmente são descartadas de forma inapropriada, quando poderiam ser utilizadas como uma alternativa de minimizar danos ambientais e de agregar maior valor nutricional à alimentação da população.

A casca do melão corresponde de 25-44% do peso total do fruto, e agrega diversos nutrientes em sua composição, como fibras alimentares, pectina, potássio, sódio, magnésio, cálcio e β -caroteno, que podem promover diversos benefícios à saúde humana (RICO et al., 2020; SILVA et al., 2020). Deste modo, por apresentar potencial nutritivo, bem como, biotecnológico, essa matéria-prima pode ser empregada por diversos segmentos industriais, incluindo as indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmetológica (MALLEK-AYADI; BAHLOUL e KECHAOU, 2017).

Contudo, para a utilização da casca do melão na elaboração de subprodutos, é importante considerar que esta matéria-prima possui alta perecibilidade, já que cerca de 92,1% do seu conteúdo é composto por água (MORAIS et al., 2017). Logo, técnicas que promovem uma maior conservação, apresentam relevância no tocante à obtenção de produtos com qualidade e maior tempo de vida útil.

Dentre as técnicas utilizadas para a conservação de alimentos, a desidratação osmótica e a secagem de produtos biológicos são alternativas que demonstram benefício. A desidratação osmótica consiste na imersão de um produto em uma solução osmótica, contendo sacarose ou outra substância desidratante, capaz de transferir seus solutos para o interior do produto, promovendo, deste modo, a remoção de água (LECH et al., 2017). Na prática, a desidratação também é bastante implementada como tratamento prévio da secagem, objetivando a otimização do processo subsequente e a preservação do alimento (CICHOWSKA et al., 2018).

A secagem, por sua vez, tem como principal objetivo promover a minimização significativa da deterioração enzimática e oxidativa do alimento, por meio da remoção total ou parcial de uma fase líquida ou gasosa através da aplicação da energia térmica, conferindo, deste modo, uma maior conservação e vida de prateleira ao produto (KROKIDA et al., 2003; FIOREZE, 2004).

Entretanto, o processo de secagem além de demandar tempo, é bastante oneroso. Assim, a utilização de modelos matemáticos eficazes pode ser útil para promover a otimização e controle do processo, bem como, para reduzir custos energéticos (AGBEDE et al., 2020). Dentre os modelos matemáticos, pode-se destacar os modelos empíricos e os difusivos; o primeiro, configura-se por apresentar uma relação direta entre o teor de umidade da matéria e o tempo de secagem, enquanto que o segundo, permite a compreensão do comportamento da transferência de calor e massa entre o produto e o ar quente (KEEY, 1972; PANCHARIYA; POPOVIC E SHARMA, 2002).

1.1 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

O Brasil é atualmente um dos maiores produtores de melão do mundo, sendo a região Nordeste responsável por mais de 90% da produção nacional. Não obstante, foi verificado que o melão é um dos frutos que apresenta maior índice de resíduos, onde há uma perda de mais da metade da fruta (55,3%), incluindo uma grande quantidade de sementes e cascas com um significativo potencial nutritivo (MALACRIDA et al. 2007; MADEIRA, 2017).

Os resíduos, ou seja, a parte dos alimentos que são descartadas nas indústrias de alimentos e no consumo doméstico, possuem altos valores nutricionais, e em alguns casos são mais nutritivos que as partes nobres dos alimentos, sendo assim, o seu reaproveitamento traz vários benefícios como redução do desperdício, enriquecimento nutricional das refeições, elaboração de novas receitas, entre outros. Contudo, para a sua utilização, muitas vezes é necessária a aplicação de alguma técnica de conservação como a secagem (STORCK et al., 2013).

A secagem convectiva é um dos métodos mais antigos de conservação de alimentos, e é bastante utilizada pela comunidade científica (KROEHNKE et al., 2018). No entanto, cabe destacar que o procedimento de secagem em produtos biológicos pode ocasionar algumas alterações indesejáveis no produto, dentre elas, a degradação de nutrientes (FIOREZE, 2004).

Diante disso, pesquisadores buscam técnicas para otimizar o processo e possibilitar um produto final de melhor qualidade com menor gasto energético.

Apesar da importância, as pesquisas sobre a secagem dos resíduos de melão ainda são incipientes, principalmente com relação à modelagem matemática. Na literatura pesquisada, poucos trabalhos foram encontrados sobre a descrição da cinética de secagem de cascas de melão (FARIAS et al., 2018).

O uso de modelos matemáticos vem sendo cada vez mais explorado por pesquisadores, pois permite o dimensionamento e planejamento do processo de secagem, prevendo por meio da modelagem e simulação, qual o comportamento do produto após a remoção da água, e com isso colabora com pesquisadores, produtores e administradores (CORRÊA et al, 2007; DANTAS et al., 2011).

Perante ao exposto, a presente pesquisa pauta-se em determinar condições ótimas de secagem de casca de melão com e sem pré-tratamento de desidratação osmótica, por meio de modelos empíricos e difusivos, além de realizar análises físico-químicas das farinhas obtidas, objetivando a melhoria do processo, com diminuição de gasto energético, redução de perdas nutricionais e aumento na qualidade do produto final.

1.2 OBJETIVO GERAL

Realizar o estudo da secagem de cascas de melão (*Cucumis melo L. var. inodorus* tipo Amarelo), sem pré-tratamento e com pré-tratamento de desidratação osmótica, com o intuito de descrever as cinéticas de secagem, através de modelos empíricos e difusivos, considerando a geometria das cascas como parede infinita.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar experimentos da secagem em camada delgada de cascas de melão para duas temperaturas diferentes (60 e 70 °C), ambas sem pré-tratamento e com pré-tratamento de desidratação osmótica;
- Avaliar o processo de secagem através de modelos empíricos, determinando os parâmetros das equações empíricas através de um *software* de ajuste de curvas;
- Estudar o efeito do fenômeno de difusão na casca do melão, considerando a geometria de parede infinita;

- Apresentar solução numérica para o problema de difusão transiente de calor ou de massa, usando a teoria da difusão líquida. Considerando a retração volumétrica e a variação na difusividade efetiva de massa;
- Aplicar as ferramentas numéricas em coordenadas cartesianas para resolver o problema de difusão transiente de massa nos produtos investigados, supondo condição de contorno do terceiro tipo, baseando-se na lei de Fick;
- Estimar, a partir de dados experimentais, a difusividade de massa aparente, considerada dependente com o teor de umidade local e o coeficiente de transferência convectivo de massa dos produtos estudados, considerado constante;
- Elaborar quatro formulações de farinhas da casca do melão;
- Determinar as propriedades físico-químicas das farinhas da casca do melão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ASPECTOS GERAIS DO MELÃO (*Cucumis melo L.*)

O melão (*Cucumis melo L.*) é um fruto originário do meloeiro, que é uma espécie de planta pertencente à família *Curcubitaceae*. Deste modo, por ser um integrante da família supramencionada, o meloeiro apresenta como peculiaridades o porte rasteiro e o caule herbáceo com múltiplas ramificações (ESTEVINHO et al., 2013).

Quanto à sua procedência, acredita-se que tenha sido na África tropical, com indícios de introdução primária na Ásia e Oriente Médio em meados de 2000 a 1500 a.C. Entretanto, devido à sua frequente exploração de cultivo, territórios que atualmente são correspondentes à China, Índia, Irã, Turquia e Repúblicas asiáticas, passaram a ser indicados como possíveis centros de origem, sendo denominados, em decorrência disso, por centros de origem secundários (KARCHI, 2000; BURGER et al., 2010).

No Brasil, a chegada do melão ocorreu na década de 1960, no Rio Grande do Sul, por intermédio dos imigrantes europeus, havendo posterior disseminação para o estado de São Paulo e, em seguida, para as regiões Norte e Nordeste (PEDROSA; FARIA, 1995). A região Nordeste destaca-se por ser a maior produtora e exportadora do melão no Brasil, sendo o Rio Grande do Norte e o Ceará, os responsáveis por alocar o país no *ranking* mundial dos maiores exportadores do fruto (PENHA; ALVES, 2018).

No que concerne à taxonomia, por se tratar de um fruto polimórfico, foram atribuídas diversas nomenclaturas de variação. Um dos responsáveis por categorizar a espécie *Cucumis melo L.* por variedades botânicas foi o botânico francês Chales Naudin, o qual propôs dez categorias, a exemplo de: *Cucumis melo var. cantaloupensis* Naud, *Cucumis melo var. inodorus* Naud, *Cucumis melo var. reticulatus* Naud, dentre outras. Contudo, posteriormente, tais variações foram consideradas grupos, com discretas modificações das categorias propostas por Naudin, com base nas particularidades e utilização dos frutos (ROBINSON; DECKER-WALTERS, 1997).

De acordo com Aragão (2011), atualmente existem sete variedades botânicas de maior relevância para agricultura, porém, no Brasil, são cultivados apenas os frutos pertencentes às variedades *Cucumis melo var. inodorus* e *Cucumis melo var. cantaloupensis*. Os melões da variedade *Cucumis melo var. inodorus*, pesam, em média, 1kg a 2kg, são inodoros, não-climatéricos e podem apresentar casca de textura lisa ou levemente enrugada, com alta resistência à danos externos (fato que atribui a esses frutos maior tempo de vida útil), e

coloração podendo variar entre amarela, branca ou verde; a polpa, por sua vez, pode ter coloração branca ou verde clara. Em contrapartida, os frutos da variedade *cantaloupenensis* pesam de 1 a 1,5kg, são aromáticos, climatéricos e apresentam cascas desniveladas ou escamosas, além de polpa com coloração diversificada, sendo geralmente alaranjada ou salmão, sabor mais atrativo e tempo de vida útil menor em comparação aos *inodorus* (ALVES, 2000; CRISÓSTOMO, 2004).

Do ponto de vista comercial, para facilitar a comunicação entre negociadores do melão, os frutos foram subcategorizados em “tipos”. No Brasil, os mais comercializados são os tipos Amarelo, Pele de Sapo e *Honeydew* (Figura 2.1 a, b, c respectivamente), que são pertencentes à variação *inodorus*; e os tipos Cantaloupe, Gália e Charentais (Figura 2.1 d, e, f) que são *cantaloupenensis* (ROBINSON; DECKER-WALTERS, 1997).

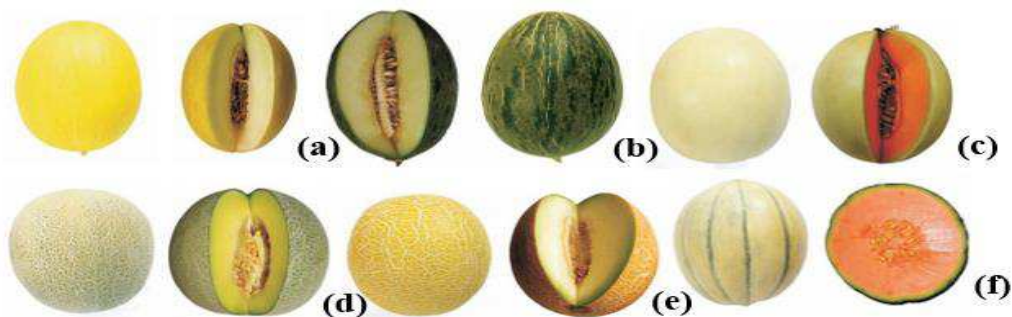


Figura 2.1 - Tipos de melão (*Cucumis melo* L.) produzidos no Brasil: (a) Melão amarelo; (b) melão pele de sapo; (c) Melão *honeydew*; (d) Melão cantaloupe; (e) Melão gália; (f) Melão charentais

Fonte: Imagem adaptada de Machado (2007).

O melão amarelo (Figura 2.1a) tem origem espanhola, é resistente, inodoro e diferencia-se dos demais por apresentar casca amarela e polpa branca-creme (ARAGÃO, 2011). É o tipo mais cultivado no Brasil, especialmente nos principais polos de produção do país, que são os estados do Rio Grande do Norte e Ceará, devido às condições climáticas favoráveis, expressas através de altas temperaturas e luminosidade adequada, além de umidade relativa entre 65% e 75%, fatores que propiciam a produtividade de frutos com aspectos qualitativos mais acurados, como melhor sabor, aroma, consistência e teor de açúcares (COSTA, 2010).

Quanto à estrutura física, o melão é constituído por epicarpo, mesocarpo e endocarpo, que correspondem à casca, entrecasca e polpa, respectivamente. O orifício interno é composto por, em média, 200 a 600 sementes que são separadas da polpa por uma película, de aspecto gelatinoso, denominada placenta (Figura 2.2) (MCCREIGHT; NERSON e GRUMET, 1993; QUEIROGA et al., 2010).

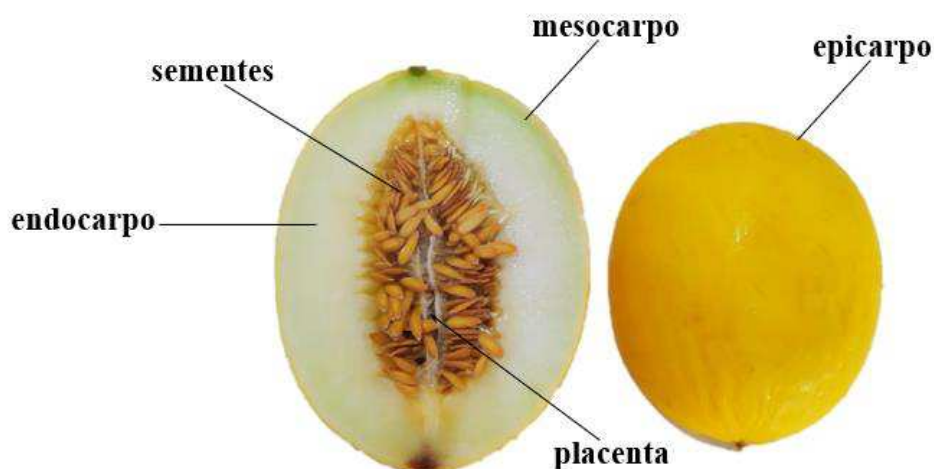


Figura 2.2 – Estrutura física do melão
 Fonte: Autoria própria (2020).

Por possuir características que aguçam os sentidos do sistema sensorial, como textura macia, aroma agradável e sabor adocicado, o melão possui alta popularidade e é amplamente consumido em todo o mundo, tanto em sua forma in natura, quanto empregado em produtos alimentícios como sorvetes, sucos, geleias, iogurtes, sopas frias e saladas (MARYANTO; DARYONO, 2011; TUAN et al., 2019).

Segundo Daryono et al. (2016) o melão é um importante contribuinte no auxílio da superação de deficiências nutricionais em humanos. Tal fato deve-se à composição do fruto, que contém significativas quantidades de provitamina A (β -caroteno), vitamina C, minerais como potássio e magnésio, polifenóis e fibras alimentares (ATEF et al., 2013).

A composição química média em 100g da polpa in natura foi quantificada pela Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA) (2019), e está expressa na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Composição química em 100g de melão in natura

| Componente | Valor por 100g |
|----------------------------|----------------|
| Energia (kcal) | 24 |
| Umidade (%) | 93,0 |
| Carboidrato total (g) | 5,70 |
| Carboidrato disponível (g) | 4,50 |
| Proteína (g) | 0,61 |
| Lipídios (g) | 0,15 |
| Fibra alimentar (g) | 1,22 |

| | |
|------------------|------|
| Cálcio (mg) | 2,53 |
| Ferro (mg) | 0,19 |
| Sódio (mg) | 8,96 |
| Vitamina A (mcg) | 1,67 |
| Vitamina C (mg) | 6,97 |
| Cinzas (g) | 0,50 |

Fonte: TBCA (2019).

Nesse contexto, por conter componentes que apresentam benefícios comprovados à saúde e ao adequado funcionamento do organismo humano, o melão é associado com atividades antioxidantes, analgésicas, anti-inflamatórias, antidiabéticas, anticancerígenas e diuréticas; podendo também apresentar eficácia no tratamento de distúrbios cardiovasculares e estomacais, além de demonstrar ação vermífuga (PARLE; SINGH, 2011; GÓMEZ-GARCIA et al., 2020).

De acordo com Fundo et al. (2018), diversos estudos comprovam a eficácia dos compostos bioativos presentes na porção convencionalmente consumida do melão. Contudo, segundo Crizel et al. (2013), pesquisas que relatam a atividade da casca e das sementes do fruto ainda são escassas.

2.2 IMPORTÂNCIA DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS

De acordo com Tsang et al. (2019), o desperdício de alimentos (incluindo os resíduos alimentares) gera uma preocupação muito além dessa problemática, tendo em vista que agregada à perda de alimentos, há a perda considerável de outros recursos como água, terra, energia e mão de obra.

O Brasil, por ser um dos maiores produtores de frutas do mundo, promove, em consequência da produção em larga escala, aliada a qualquer perda que pode ocorrer dentro da cadeia alimentar, o aumento expressivo da carga de resíduos (cascas, sementes e bagaços), que geralmente recebem o descarte inadequado, fato que induz, em efeito, a uma série de danos ao meio ambiente e uma perda substancial de nutrientes com alto valor biológico (PATEL et al., 2016).

Do ponto de vista nutricional, os resíduos de frutas merecem uma atenção especial, já que são fonte de vitaminas, minerais, pectina e fibras alimentares; além de agregarem aos produtos, de forma natural, ação antimicrobiana, aromatizante, corante e texturizante (AYALA-ZAVALA et al., 2011; PETKOWICZ; VRIESMANN e WILLIAMS, 2017).

Nesse contexto, López-Marcos et al. (2015) ressaltam que o aproveitamento dos resíduos alimentares surge como uma alternativa eficaz no combate ao desperdício de recursos e vem recebendo um crescente destaque na indústria moderna em âmbito mundial. No entanto, é necessário que haja investimento científico e tecnológico para que recebam a valorização adequada e sejam utilizados de modo eficiente, econômico e seguro.

Assim, Deng et al. (2012) sugerem que esses resíduos, por apresentarem alto potencial biotecnológico, podem ser empregados efetivamente na indústria alimentícia, farmacêutica e cosmetológica, além de também poderem ser utilizados na produção de biopesticidas, biocombustíveis e outros compostos, com o objetivo de minimizar danos ambientais e de produzir tecnologia acessível e sustentável (PANDA E RAY, 2015).

2.3 CASCA DO MELÃO (*Cucumis melo L.*)

2.3.1 Propriedades nutricionais e benefícios

Apesar de ainda serem insuficientes os estudos que relatam a caracterização bioquímica completa da casca do melão, algumas pesquisas já foram realizadas e demonstram a potencialidade desta matéria-prima.

Storck et al. (2013) ao analisarem a composição centesimal da casca do melão, identificaram os valores de 18,9 kcal referente à energia, 89,8% de umidade, 2,13g de carboidratos, 2,03g de proteínas, 0,25g de lipídios, 4,58g de fibras e 1,19 de cinzas.

Madeira (2017) ao elaborar uma farinha da casca do melão e analisar a composição centesimal, certificou que esta é uma matéria-prima com grande potencial nutritivo, já que os dados apontaram percentuais de 40,57% de fibras alimentares, 18% de proteínas, 19% de celulose, e 32,65% de pectina. Ademais, também foi avaliada a composição dos extratos obtidos a partir da farinha, que demonstrou apresentar um baixo teor de açúcares totais (0,8%), além da presença de compostos fenólicos, terpenos, saponinas, carotenoides e catequinas.

Com relação aos micronutrientes, estudos indicam que a matéria-prima em questão configura-se como uma importante fonte de potássio, sódio, magnésio e cálcio, além de conter β -caroteno e licopeno em sua composição (SILVA et al., 2020). Um estudo realizado por Morais et al. (2017) comparou o perfil nutricional da casca de sete frutas tropicais e constatou que a casca do melão possui uma maior concentração de cálcio e magnésio em comparação às cascas do abacate, abacaxi, banana, mamão e maracujá. Outrossim, um teor de proteínas mais elevado que as cascas do abacate, abacaxi, banana, maracujá e melancia, bem como um teor de

fibra bruta superior ao que consta na casca do abacaxi e mamão. Semelhantemente, uma investigação anterior realizada por Gondim et al. (2005), para avaliar a composição das cascas do melão, abacaxi, mamão, banana, maracujá, abacate e tangerina, constatou que a casca do melão se destaca sobre as demais por apresentar maior percentual de umidade e menor valor energético.

No que concerne à capacidade antioxidante, Ismail et al. (2010) analisaram o conteúdo fenólico total e o conteúdo total de flavonoides presentes na casca, polpa e sementes do melão e concluíram que a casca demonstrou maior quantidade em sua composição.

Com o objetivo análogo, Rolim et al. (2018) realizaram um estudo *in vitro* que demonstrou associação positiva da utilização dos resíduos do melão com efeitos antioxidantes, anticancerígenos e antiproliferativo de células tumorais, possivelmente devido ao forte conteúdo bioativo presente na casca e na semente.

Outro estudo que contribui com a consolidação da casca do melão como agente antioxidante é o realizado por Vella, Cautella e Larata (2019) que objetivando comparar a capacidade antioxidante dos resíduos do fruto, realizaram as análises cromatográficas e espectrofotométricas, as quais indicaram que o extrato da casca demonstrou maior capacidade de redução e eliminação de radicais livres, além de maior conteúdo polifenólico em comparação ao extrato da semente.

Alguns estudos experimentais utilizando algumas raças de ratos também foram executados com o objetivo de avaliar o potencial das cascas do melão sobre o efeito de diversos quadros patológicos. Parmar e Kar (2009) perceberam eficácia do extrato da casca na potencialização da função tireoidiana e na atenuação da peroxidação lipídica tecidual em ratos Wistar. Dixit e Kar (2010), por sua vez, induziram um quadro de diabetes por aloxana em camundongos e observaram que as cascas de três variedades de melão apresentaram capacidade de reversão quase completa do diabetes. Já Bidkar et al. (2012) compararam o efeito do extrato metanólico da casca do melão com o efeito do medicamento atorvastatina, no tratamento da hiperlipidemia induzida por dieta hipercolesterolêmica em ratos, como resultado, observaram que a eficácia do extrato foi equivalente à droga. Enquanto que Ezzat et al. (2019) optaram por investigar a capacidade anti-inflamatória de extratos da casca do fruto em ratos da raça *Sprague Dawley* com inflamação induzida, e observaram potencial benefício no controle da inflamação, considerando que houve uma redução da prostaglandina-2, fator de necrose tumoral- α , interleucina-6 e interleucina 1 β , que são mediadores pró-inflamatórios.

Ante ao exposto, torna-se perceptível que os estudos citados sugerem o quão promissora é a matéria-prima em questão, tendo em vista que contém alto valor nutricional e diversos compostos bioativos que podem agregar inúmeros benefícios à saúde humana, além de sua utilização contribuir com a redução da carga de resíduos convencionalmente descartados de forma inadequada. Portanto, novos estudos acerca, e sua inclusão na elaboração de produtos com valor agregado, demonstram apresentar relevância.

2.3.2 Possibilidades de emprego biotecnológico

Por se tratar de um resíduo denominado agrícola ou agroindustrial, a casca do melão é considerada uma fonte lignocelulósica, que é uma alternativa acessível com potencialidade de emprego na produção de diversos produtos de valor agregado (MEZULE; DALECKA e JUHNA, 2015). Segundo Soccol et al. (2010), esse tipo de resíduo merece destaque por apresentar qualidade nutricional e diversos compostos bioativos, além de potencial biotecnológico por conter características favoráveis à produção de diversos produtos de interesse industrial como novos alimentos ou suplementos, proteínas, enzimas, glicose, aromatizantes e bioetanol.

Franco e Landgraf (1996) elucidam que o aproveitamento dos subprodutos do melão pela indústria demonstra grande importância, já que são porções extremamente ricas e que compreendem 45% do fruto, ou seja, quase metade do peso total. Entretanto, a literatura ainda é escassa de trabalhos que envolvam a utilização da casca do melão como matéria-prima para a elaboração de novos produtos, especialmente, produtos alimentícios destinados ao consumo humano.

Madeira (2017) ao analisar a potencialidade da farinha da casca do melão para a produção de enzimas, identificou eficácia dessa matéria-prima como um substrato na produção de enzimas celulolíticas.

Voltado para a linha de tecnologia de alimentos, Miguel et al. (2008), desenvolveram um trabalho com o objetivo de propor alternativas para o aproveitamento de cascas e sobras de melão minimamente processados, além de avaliar parâmetros centesimais e sensoriais dos produtos. Deste modo, com as cascas foram desenvolvidos três produtos: compota, doce e doce glaceado; já com as sobras da polpa, foram elaboradas geleias. Todavia, para a confecção dos produtos, as matérias-primas não passaram por processo de secagem e produção da farinha, com exceção do doce glaceado, que após as cascas terem sido imersas em xarope de açúcar e posteriormente terem sido acomodadas em peneiras para a retirada do excesso desse

carboidrato, foram submetidas à estufa com circulação forçada de ar a 40 °C, até a obtenção de uma umidade inferior a 25%. Entretanto, para a caracterização dos produtos, aqueles que continham cascas do melão foram secos em estufa a 50 °C, posteriormente foram moídos em moinho e sofreram peneiramento para a produção da matéria seca, enquanto que as geleias foram analisadas de acordo com a matéria úmida. Mediante análise centesimal, os produtos obtidos a partir da casca apresentaram maiores teores de cinzas, proteína e fibra alimentar; já o teste sensorial indicou que, com exceção do doce, todos os produtos demonstraram aceitabilidade com índices superiores a 80%.

Metodologia diferente foi utilizada por Vieira et al. (2017), que analisaram a aceitação e propriedades físico-químicas de *cupcakes* adicionados da farinha da casca do melão. O processo empregado para a obtenção da farinha consistiu na secagem das cascas em estufa com circulação de ar (70 °C), por 48 horas e posterior trituração em liquidificador doméstico e peneiramento. Para a elaboração dos *cupcakes* foram estabelecidas formulações contendo 0%, 4,25%, 8,5%, 12,75% e 17% de farinha da casca do melão, sendo a primeira formulação considerada padrão, ou seja, sem a adição da farinha de teste. Mediante a análise sensorial, percebeu-se que um nível de acréscimo de até 12,75% da farinha ao produto analisado foi muito bem aceito, sendo a aceitação semelhante ao produto padrão. Já no que concerne à análise físico-química do produto, foi registrado um aumento no aporte de cinzas e fibras, indicando melhorias do perfil nutricional do alimento, sugerindo que a farinha da casca do melão configura-se como uma ótima alternativa para agregar valor a outros produtos.

Já Al-Sayed e Ahmed (2013), optaram por desenvolver um bolo contendo a farinha das cascas do melão e da melancia. Neste estudo, os autores destacaram que a substituição parcial de 5% da farinha de trigo pela farinha das cascas demonstrou boa aceitação sensorial e foi o suficiente para a obtenção de um produto com mais componentes bioativos, quando comparado com a formulação convencional (100% de farinha de trigo). Além disso, outro atributo encontrado foi o aumento do prazo de validade do produto, devido ao alto potencial antioxidante das farinhas das cascas. De modo geral, os autores incentivam a utilização da matéria-prima em questão pela indústria alimentícia, por apresentar benefícios ambientais e econômicos, e por potencializar o teor nutritivo do produto, além de empregar atividade antioxidante.

2.4 MONITORAMENTO DA GERAÇÃO DE TECNOLOGIAS UTILIZANDO CASCAS DO MELÃO

Com o objetivo de analisar o desenvolvimento das tecnologias a partir do emprego das cascas do melão, foi realizada uma busca em novembro de 2019, utilizando o método de monitoramento tecnológico através da ferramenta *PatentInspiration*®. Para tanto, foi utilizada a palavra-chave “*melon peel*” nos campos título, resumo e palavras-chave, visando a obtenção do maior número de documentos de 1987 (primeiro registro) a 2018 (último registro até a data da pesquisa).

A leitura dos documentos de patentes selecionadas foi realizada com o intuito de extração de informações em três níveis diferentes, a saber: Macro, Meso e Micro. Deste modo, tornou-se possível identificar informações inerentes às tecnologias que envolvem a casca do melão, dentre as quais: ano de publicação, distribuição por instituições (universidades ou empresas), países depositantes, produtos desenvolvidos, área de especificidade, dentre outras informações.

Na oportunidade, foram realizadas buscas por patentes que demonstrassem tecnologias que envolvem, de modo específico, a casca do melão. Para tanto, foi realizada uma pesquisa através da associação da porção de interesse do fruto à sua nomenclatura popular “*melon peel*”, a qual apresentou 105 patentes.

Com relação à evolução da produção tecnológica em número de patentes por ano, a Figura 2.3 demonstra que, até o momento da realização da pesquisa, os números mais expressivos de patentes que envolvem o tema de interesse deram-se a partir de 2007, expandindo-se a partir de 2013, tendo seu ápice no ano de 2015, com 19 registros.

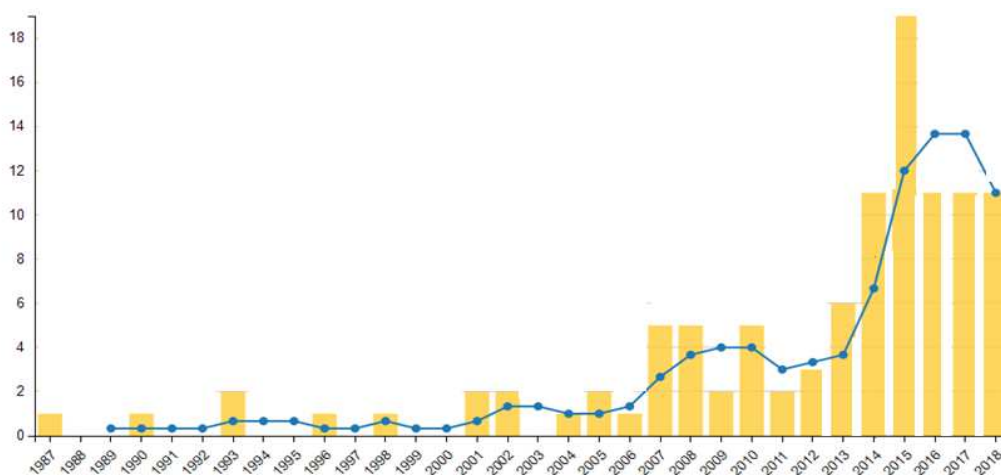


Figura 2.3 – Distribuição das patentes por ano de publicação

Fonte: PatentInspiration® (2019).

No que concerne às principais universidades e empresas que estão envolvidas com o desenvolvimento de tecnologias a partir da casca do melão, faz-se necessário destacar que

nenhuma destas foi depositante de mais de duas patentes. Destarte, as principais instituições, ou seja, aquelas que publicaram com maior frequência, estão expressas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Principais instituições responsáveis pelo desenvolvimento de tecnologias com cascas de melão em âmbito mundial.

| PRINCIPAIS INSTITUIÇÕES | NÚMERO DE PUBLICAÇÕES |
|---|-----------------------|
| Hexian Fengtaishan Yuxin AnimalHusbandry CO LTDA | 2 |
| Tarim University | 2 |
| Qingyang Dunbo Tech Dev CO LTDA | 2 |

Fonte: Patent Ispiration® (2019).

Na Figura 2.4 pode ser observada a quantidade de depósitos de patentes registrados por países.

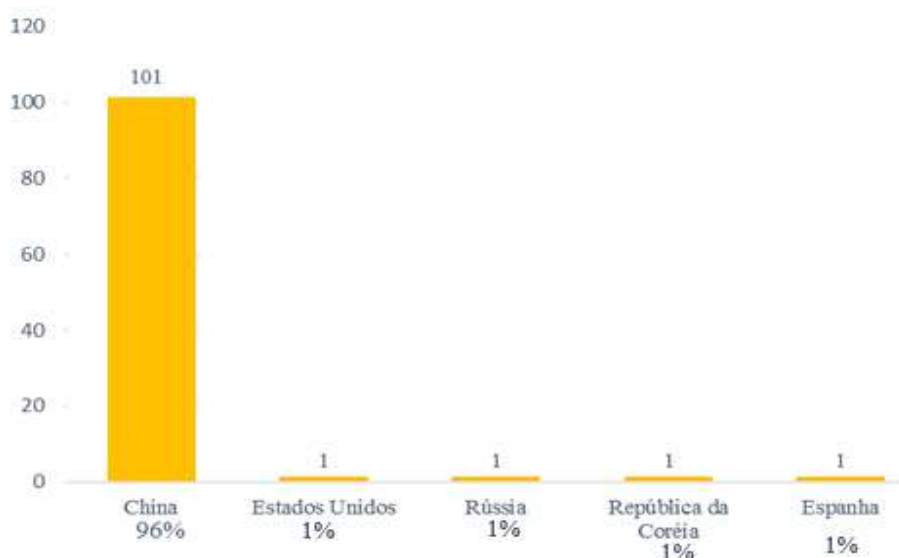


Figura 2.4 – Panorama das patentes por país depositante

Fonte: Patent Ispiration® (2019).

Frente ao exposto, pode-se observar que a China detém, de modo expressivo, o maior número de patentes que utilizaram a casca do melão como matéria-prima. Uma das justificativas para tal resultado, é o fato de o país ser pertencente ao continente asiático, onde as evidências indicam a introdução primária do melão.

Com relação às características tecnológicas, das 105 tecnologias que envolvem a casca do melão, 94 correspondem à Seção A – Necessidades Humanas, e 11 à Seção C – Química;

Metalúrgica. De modo específico, pode-se destacar patentes relacionadas principalmente à elaboração de produtos alimentícios para humanos, alimentos para animais, preparações de bebidas não alcoólicas, preparações medicinais, produção de medicamentos, dentre outras, as quais pertencem à seção A. E, em menor escala, estão as tecnologias que envolvem a produção de fertilizantes e de bebidas alcoólicas, pertencentes à seção C (Figura 2.5).

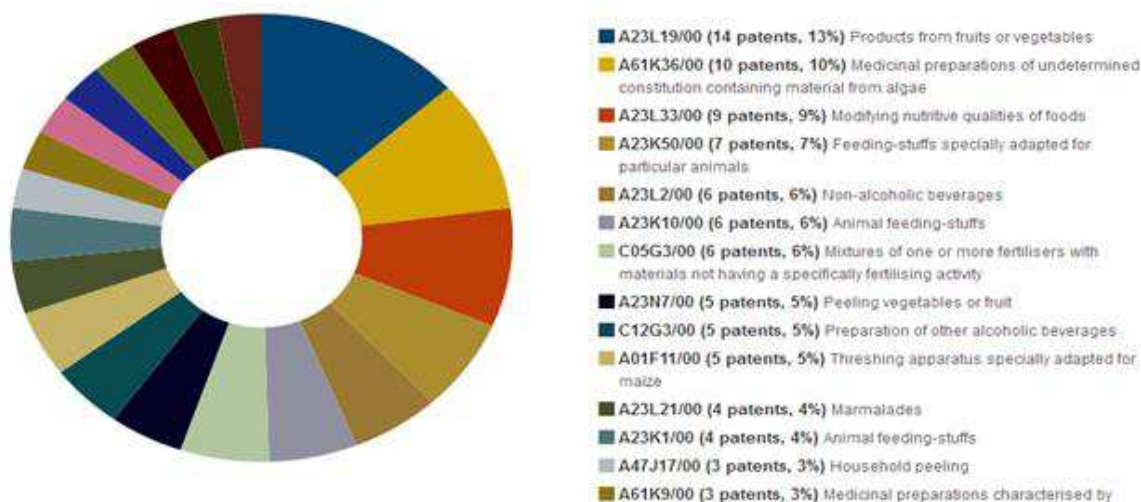


Figura 2.5 – Classificação por código IPC para “melon peel”.
Fonte: Patent Ispiration® (2019).

Em suma, após o estudo detalhado das patentes depositadas, torna-se perceptível que o desenvolvimento de tecnologias envolvendo a casca do melão ainda é incipiente, apesar de toda importância que a utilização desta matéria-prima demonstra.

Nesse contexto, sob a ótica da sustentabilidade, e das propriedades nutricionais e biotecnológicas, o leque de possibilidades para o desenvolvimento de novas tecnologias que utilizem a matéria-prima aludida encontra-se amplo e merece ser explorado, principalmente no Brasil que apesar de ser um grande polo produtor e exportador do melão, apresentou uma frequência de depósito nula.

2.5 TÉCNICAS DE CONSERVAÇÃO DE ALIMENTOS

As técnicas de conservação de alimentos consistem na indução destes a um tratamento que possui como objetivos a interrupção ou o retardo da deterioração geralmente causada ou intensificada por micro-organismos, bem como, da oxidação lipídica, senescência natural, e das reações enzimáticas que podem prejudicar as características do alimento. Deste modo, o emprego de tais técnicas apresenta importância por minimizar as perdas de qualidade e

comestibilidade. Contudo, estudos acerca da investigação de melhores métodos que não alterem demasiadamente as características e o perfil nutricional dos alimentos são necessários (YADAV; SINGH, 2014).

São diversas as técnicas de conservação de alimentos, dentre as quais, Vasconcelos; Melo Filho (2010) destacam: métodos que envolvem calor, frio, controle da umidade (concentração e desidratação), aplicação de aditivos, fermentação, salga e defumação, irradiação, pressão hidrostática, pulsos elétricos, pulsos luminosos e magnéticos. Contudo, o presente estudo pauta-se em utilizar e explanar os métodos de desidratação osmótica e secagem convectiva.

2.5.1 Desidratação Osmótica

A técnica de desidratação osmótica consiste na imersão de um produto em uma solução osmótica. Na oportunidade, há a imersão do soluto no produto, o que induz, em efeito, a perda parcial de água (Figura 2.6) (LENART; LEWICK, 2005). Geralmente, utiliza-se como soluto a sacarose e/ou o cloreto de sódio. Entretanto, a glicose, glicerol, sorbitol, xarope de milho, xarope de glicose e fruto-oligossacarídeo também são utilizados; para a escolha, é importante considerar o seu peso molecular e o comportamento iônico, já que ambos exercem influência sobre os parâmetros cinéticos (EMAM-DJOMEH; DEHGHANNYA e GHARABAGH, 2006; TORTOE, 2010; SUTAR; SUTAR, 2013; SOURAKI; GHAVAMI e TONDRO, 2014).



Figura 2.6 – Esquema do fluxo de transferência de massa durante o processo de desidratação osmótica.

Fonte: Figura adaptada de Lima (2012)

Além do tipo do soluto, outros fatores apresentam influência sobre a eficiência do processo, como a concentração da solução, temperatura, duração do processo, características do produto imerso (estrutura e geometria) e proporção da quantidade do produto para a quantidade da solução (AHMED; QAZ e JAMAL, 2016; ASSIS; MORAIS e MORAIS, 2016). Portanto, tais fatores devem ser analisados de forma criteriosa, já que a perda de água, inerente a esse processo, pode acarretar alterações físico-químicas, como modificações da estrutura natural do produto e reconstituições celulares (NIETO et al., 2013).

De acordo com Lenart e Lewicki (2006) a desidratação osmótica é bastante utilizada como tratamento prévio da secagem por apresentar benefícios como otimização do tempo de secagem e, conseqüentemente, economia de energia. Ademais, também há as vantagens de melhoria das características organolépticas, da atividade biológica e do tempo de vida útil do alimento (SAREBAN; ABBASI, 2016). Em decorrência disso, Cichowska et al. (2018) destacam que tal combinação pode ser bastante útil para a elaboração de novos produtos alimentícios e de tecnologias inovadoras.

Perante as vantagens supramencionadas, Chwastek (2014) acrescenta que a desidratação osmótica é uma técnica cada vez mais requerida durante o processamento de frutas e vegetais. Diante disso, na literatura existem diversos estudos que utilizam a desidratação osmótica como pré-tratamento para a secagem de frutas. Dentre os tais, pode-se destacar estudos com banana (SILVA JÚNIOR, 2015), melão (SILVA et al., 2016), pêra (RIBEIRO et al., 2016), abacaxi (CORRÊA et al., 2017), goiaba (CASTRO et al., 2018), kiwi (BARROS, 2020), dentre outros. Entretanto, estudos que viabilizam o processamento dos resíduos de frutas através dessas técnicas conjuntas ainda são discretos.

2.5.2 Secagem: aspectos gerais

Em síntese, a técnica de secagem consiste na submissão de um produto a uma condição de calor capaz de promover a eliminação total ou parcial da água (ou outro líquido) do produto por evaporação ou sublimação, para o ar não saturado (AKIPINAR et al., 2006; FELLOWS, 2006).

Seu principal objetivo é a redução da atividade de água (A_w) no interior do produto, fato que, conseqüentemente, impossibilita a ação de micro-organismos, reações químicas e atividades enzimáticas. Em decorrência disso, obtém-se um produto com o tempo de vida útil mais amplo e mais fácil de ser transportado e armazenado devido à redução do seu peso, além de possuir a potencialidade de promover a versatilidade alimentícia por meio da sua utilização

na elaboração de novos subprodutos. Contudo, vale salientar que essa técnica pode promover alterações estruturais, sensoriais e nutricionais no alimento, que podem ser minimizadas através de condições de secagem adequadas (ORDÓÑES, 2005; FELLOWS, 2006).

Segundo Garcia et al. (2004) as modalidades de secagem são categorizadas de acordo com o uso de equipamentos: natural ou artificial. A secagem natural geralmente é realizada por meio da exposição do produto à energia solar. Apesar de ser uma técnica mais acessível, apresenta como desvantagens a dependência do clima e do tempo, bem como, uma maior dificuldade no controle de agentes externos contaminantes (DOYMAZ, 2011). Já a secagem artificial é realizada por meio da passagem forçada de ar no interior do produto, oriunda de fontes mecânicas, elétricas ou eletrônicas (CAVARIANI, 1996). Por poder ser controlada, apresenta as vantagens de promoção da secagem em um menor tempo, redução das perdas e maior produtividade. Todavia, essa técnica requer um consumo maior de energia, conhecimento técnico e, na maioria das vezes, obtenção de equipamentos acessórios como termômetros e higrômetros (NUNES; RESENDE, 2013).

Ademais, de acordo com Fioreze (2004), a secagem artificial ainda pode ser subcategorizada em quatro grupos, que são organizados considerando o tipo de equipamento utilizado e o método de secagem, a saber: secagem com ar quente, secagem em contato com uma superfície quente, secagem à vácuo e secagem à frio (liofilização). Além disso, também há uma classificação correspondente à frequência de exposição do produto ao calor, que pode ser contínua ou intermitente (GARCIA et al., 2004).

2.5.2.1 Fenômeno da secagem

Quando um produto é submetido à técnica de secagem, ocorrem, concomitantemente, dois distintos fenômenos: transferência de energia e transferência de massa. O primeiro, transfere energia (calor) do ambiente para a superfície do produto com o objetivo de promover a evaporação da umidade superficial, entretanto, esse fenômeno depende de condições externas de temperatura, pressão, umidade, fluxo e direção do ar, bem como, da estrutura externa do produto. Enquanto que, o segundo, promove a transferência de massa (umidade) do interior do produto para sua superfície. Posteriormente, essa umidade é evaporada para o ambiente, em consequência do primeiro fenômeno. Nesta fase, também há fatores que podem influenciá-la, como a estrutura interna do produto, sua umidade e temperatura (PARK et al., 2007). O diagrama do processo de secagem pode ser observado na Figura 2.7.

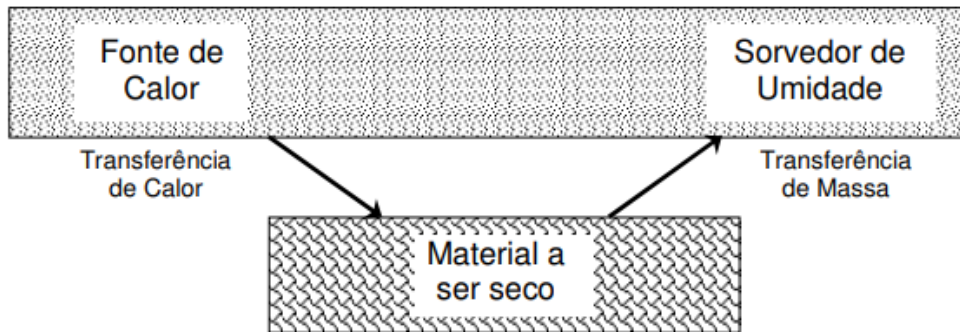


Figura 2.7 – Diagrama do processo de secagem
 Fonte: Alonso (1998).

Park et al. (2007) acrescentam que esse processo de secagem, ou seja, essa transferência concomitante de calor e massa, é dividida em três períodos: de indução (0), de taxa constante (1) e de taxa decrescente (2) (Figura 2.8).

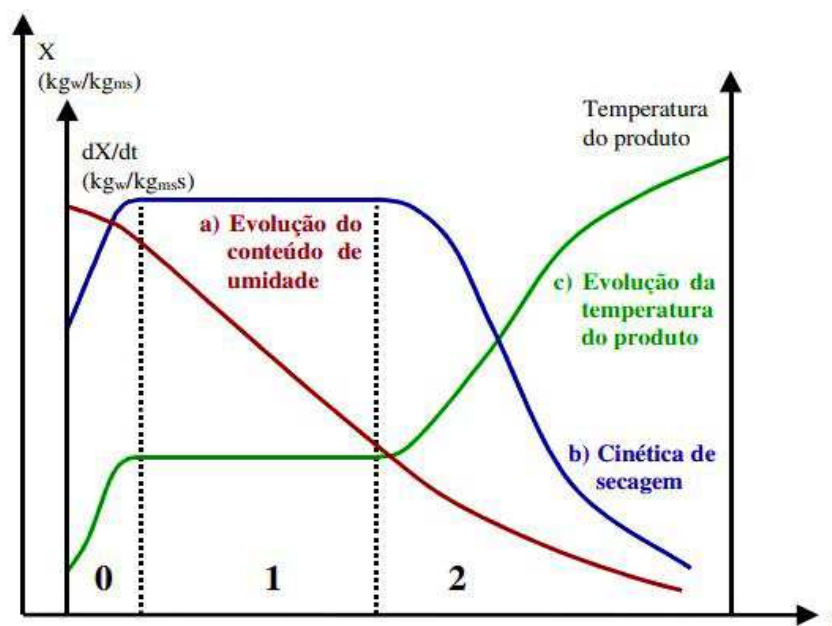


Figura 2.8 – Curva de secagem
 Fonte: Park et al. (2007)

Segundo Machado (2009), o período de indução (0) é caracterizado por uma fase de aquecimento, onde o produto encontra-se, geralmente, em uma temperatura abaixo da temperatura de secagem, portanto, tal cenário não apresenta permanência.

Já no período de taxa constante (1), a temperatura do produto se mantém igual à temperatura do ar de secagem e os fenômenos de transferência de calor e massa se compensam. Deste modo, o deslocamento da água no interior do produto para a superfície não afeta a evaporação, já que a taxa de deslocamento interno para a superfície é igual ou maior à taxa de

evaporação (FOUST et al., 1982; SODHA et al., 1987). Ao que concerne à secagem de produtos biológicos, Brooker et al. (1992) esclarecem que a execução dessa fase é mais dificultosa, sendo possível apenas quando o produto apresenta umidade inicial bastante elevada.

O período de taxa decrescente (2) é o mais frequentemente observado em secagens de produtos agrícolas e alimentícios e, por sua vez, é caracterizado por uma redução do fenômeno de transferência de massa em decorrência da diminuição do deslocamento de umidade do interior do produto para sua superfície, assim, à medida que a água da superfície passa a ser insuficiente, a velocidade da secagem decai. Por fim, o teor de umidade do produto encontra-se em equilíbrio com ar, e a velocidade de secagem torna-se estática (CARMO, 2004; PARK et al., 2007).

Contudo, alguns fatores podem influenciar na taxa de secagem, como aqueles relacionados às condições de processamento da secagem (temperatura, umidade relativa, velocidade de ar e técnica), às características inerentes ao produto a ser seco (tipo e natureza) e às características do secador (tipo do secador) (FELLOWS, 2006; FRANCO, 2016).

2.5.2.2 Teorias da secagem

Segundo Carmo (2004) a literatura reúne diversas teorias que visam elucidar o processo de transporte de água no interior do produto. Deste modo, a seguir estão expostas tais teorias e suas breves descrições, conforme o autor supracitado:

- a) **Teoria da difusão líquida:** Considera que o fluxo de umidade no interior do produto é gerado por um gradiente de concentração;
- b) **Teoria capilar:** Refere-se à passagem de um líquido no interstício e sobre a superfície de um produto, em decorrência da atração entre o líquido e o sólido (HOUGEN, 1940).
- c) **Teoria da condensação-*evaporação*:** Considera que o vapor de água do interior do produto condensa-se próximo a sua superfície e, ao atingir a taxa de condensação igual à de *evaporação*, não há concentração de água nos poros próximos a superfície;
- d) **Teoria de Luikov:** Sugere que o transporte molecular de vapor de água, ar e líquido acontece simultaneamente;
- e) **Teoria de Philip e De Vries:** Sugere que o deslocamento da água nos poros do interior do produto acontece por meio da difusão de vapor e capilaridade;

- f) **Teoria de Krischer:** Pode ser aplicada em diversos meios porosos e considera que o transporte de umidade pode ocorrer no estado líquido, de vapor ou por capilaridade.

2.5.2.3 Teor de umidade

Os produtos agrícolas são constituídos pela porção de água e pela porção de matéria seca, ou seja, pelos demais componentes. Deste modo, de acordo com Park et al. (2007), o teor de umidade de um produto diz respeito à proporção entre as duas porções supracitadas. Assim, o teor de umidade pode ser expresso através de duas formas (Equação 2.1 e Equação 2.2):

- **Base seca (M_{bs})** – Em relação à massa seca do produto

$$M_{bu} = \frac{\text{peso da água}}{\text{peso da matéria seca}} = \frac{W_a}{W_s}$$

- **Base úmida (M_{bu})** – Em relação à massa total do produto:

$$M_{bu} = \frac{\text{peso da água}}{\text{peso do produto}} = \frac{W_a}{W_a + W_s}$$

onde: W_a é o peso da água; W_s é o peso da matéria seca.

Ao se realizar a secagem de um determinado produto e ao obter os dados experimentais da perda de massa após o procedimento, é possível descobrir a razão de umidade. Para tanto, é necessária a execução da Equação 2.3 na sua forma adimensional:

$$\bar{M} = \frac{\bar{M}_{bs} - \bar{M}_e}{\bar{M}_i - \bar{M}_e} \quad (2.3)$$

onde \bar{M} é a razão de umidade média do produto, na sua forma adimensional; M_{bs} é o teor de umidade médio do produto em base seca; M_e é o teor de umidade de equilíbrio do produto em base seca; M_i é o teor de umidade inicial do produto em base seca

2.6 MODELAGEM MATEMÁTICA NO PROCESSO DE SECAGEM

A secagem, por ser uma técnica que necessita de um alto aporte energético, é responsável por consumir, em média, 20 a 25% da energia utilizada em uma indústria alimentícia. Portanto, estratégias que promovam a eficiência do processo e a garantia da qualidade final do produto, demonstram grande importância (BEEDIE, 1995).

Nesse contexto, a modelagem matemática representa uma alternativa bastante útil, capaz de simular o processo de secagem de produtos, possibilitando, conseqüentemente, a otimização do tempo de secagem, bem como, a redução dos custos, da energia e dos danos oriundos do processo (BORGES, 2016). Além desses benefícios, ao utilizar essas simulações, é possível analisar o comportamento da combinação de diversas variáveis, prever o tempo adequado de secagem, definir o melhor tipo de secador e promover a padronização do processo (LEITE et al., 2005).

De acordo com Bassanezi (2002), para a obtenção de um modelo matemático é necessário realizar a substituição da linguagem natural das hipóteses por uma linguagem matemática coerente. Diante disso, Borges (2016) acrescenta que é imprescindível a adição do máximo de parâmetros dentro dos modelos matemáticos, para que seja possível a descrição realística do fenômeno físico e para que os resultados apresentem fidedignidade.

Assim, a simulação da secagem de produtos alimentícios, por meio da modelagem matemática, pode ser feita por meio de dois grupos principais: modelos empíricos (e semi-empíricos) e modelos difusivos (ou teóricos). Os modelos empíricos e semi-empíricos consideram unicamente as condições externas de secagem, como a resistência externa à temperatura e a umidade relativa do ar, não considerando fatores internos do produto. Enquanto que os modelos difusivos permitem a compreensão do comportamento da transferência de calor e massa entre o produto e o ar quente (MIDILLI; KUCUK e YAPAR, 2002; PANCHARIYA; POPOVIC e SHARMA, 2002).

2.6.1 Modelos empíricos

Os modelos empíricos demonstram uma associação entre o teor médio de umidade e o tempo de secagem. Apesar de serem úteis para descrever as curvas de secagem de determinadas situações experimentais, não são capazes de prover uma perspectiva acurada dos processos importantes que ocorrem durante a secagem, já que, além de não considerar tais processos, seus parâmetros não apresentam significado físico. Ademais, vale salientar que esses modelos baseiam-se em dados experimentais e na análise adimensional (KEEY, 1972).

Já os modelos semi-empíricos baseiam-se na lei de resfriamento de Newton. Com isto, atribuem que as condições do fluxo são isotérmicas e que a resistência à transferência de massa ocorre unicamente na superfície do produto (BROOKER et al., 1992).

Na prática, ambos são amplamente utilizados para a descrição da secagem de camada fina, devido, principalmente, à sua facilidade de resolução. Contudo, essa facilidade faz com que esses modelos apresentem muitas limitações (COSTA, 2008).

Segundo Borges (2016), apesar das limitações, a literatura contém uma ampla gama de modelos empíricos capazes de estimar as curvas de secagem de produtos agrícolas. Alguns podem ser visualizados na Tabela 2.3:

Tabela 2.3 – Modelos empíricos frequentemente utilizados na descrição da secagem de produtos agrícolas

| Modelo | Equação |
|------------------------|---|
| Newton | $Ru = \exp(-kt)$ |
| Page | $Ru = \exp(-kt^n)$ |
| Henderson e Pabis | $Ru = a \exp(-kt)$ |
| Dois termos | $Ru = a \exp(-k_0t) + (1 - a) \exp(-kat)$ |
| Wang e Sing | $Ru = 1 + at + bt^2$ |
| Midilli | $Ru = a \exp(-kt^n) + bt$ |
| Aproximação da difusão | $Ru = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$ |
| Thompson | $Ru = a \ln(X^4) + b [\ln(X^4)]^2$ |

Fonte: adaptada de Silva (2013).

onde:

Ru – razão de umidade do produto

t – tempo de secagem em horas

k, k0 – constantes de secagem em min^{-1}

a, b, n – coeficientes dos modelos

Visto a importância, a literatura dispõe de diversos trabalhos que utilizam os modelos empíricos com o objetivo de descrever a cinética de secagem de diferentes matérias-primas. A exemplo, Medeiros et al. (2020) submeteram sementes de melão ao procedimento de secagem à temperatura de 80°C, e avaliaram a cinética por meio dos modelos empíricos de Henderson e

Pabis, Logarítmica, Lewis, Page, Silva et alii, e Wang e Singh. Como resultado, verificaram que o modelo de Page demonstrou o melhor ajuste aos dados experimentais.

Com abordagem semelhante, Lima et al. (2020) realizaram a secagem convectiva de cascas de maracujá à 50, 60 e 70°C, e avaliaram a cinética por meio dos modelos empíricos de Henderson e Pabis, Lewis, Page, Peleg, Silva et alii, e Wang e Singh. Semelhantemente, também verificaram que o modelo de Page apresentou melhor ajuste aos dados experimentais.

Já Alexandre et al. (2013) observaram a cinética de secagem do resíduo do abacaxi enriquecido com *Saccharomyces cerevisiae* sob as temperaturas de 40 e 60°C. Para a avaliação do ajuste matemático, utilizaram as equações de Lewis, Page e Henderson e Pabis, e destacaram que apesar de todos os modelos terem apresentado resultado satisfatório de ajuste aos dados experimentais, o modelo de Page demonstrou superioridade discreta quando comparado aos demais.

2.6.2 Modelos difusivos

A equação geral de transporte dada por um meio infinitesimal, é dada pela Equação 2.4 (PATANKAR, 1980; BECK et al., 1992; MALISKA, 2004):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\lambda\Phi) + \nabla \cdot (\lambda\vec{v}\Phi) = \nabla \cdot (\Gamma^{\Phi}\nabla\Phi) + s^{\Phi} \quad (2.4)$$

onde Φ é a variável dependente de interesse, λ e Γ^{Φ} são coeficientes de transporte, \vec{v} é o vetor velocidade do meio e S^{Φ} é o termo fonte.

Diferentemente do modelo anterior, os modelos difusivos são baseados na segunda Lei de Fick e consideram que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água (Equação 2.5) (PARK; VOHNIKOVA e BROD, 2002). Ademais, esses modelos possuem a capacidade de simular o teor de umidade da porção interna do produto em qualquer instante de tempo (SILVA, 2012).

Contudo, apesar de os modelos difusivos considerarem parâmetros envolvidos ao produto e ao ar de secagem, Roca et al. (2008) esclarecem que estes não representam fidedignamente os diversos processos que ocorrem no transporte de água em produtos agrícolas, portanto, o coeficiente de difusão determinado é considerado aparente ou efetivo. Além disso, características inerentes ao produto (natureza, estrutura física e composição química), bem

como, ao processo de secagem, contribuem para a complexidade destes modelos (ZOGZAS MAROULIS e MARINOS-KOURIS, 1996).

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla \cdot (D \nabla M) \quad (2.5)$$

onde: M (função espaço-temporal) representa o teor de umidade e D é a difusividade efetiva de massa.

Já a equação que descreve o fenômeno de difusão para uma variável genérica Φ é obtida através da Equação (2.6), a qual deriva da Equação 2.4, pois, nesta, o termo advectivo foi considerado nulo:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\lambda \Phi) = \nabla \cdot (\Gamma^\Phi \nabla \Phi) + S^\Phi \quad (2.6)$$

A equação de difusão pode ser resolvida por meio da utilização de soluções analíticas e/ou numéricas. Contudo, aspectos como a geometria a qual o produto se assemelha, bem como, suas condições de contorno, devem ser previamente consideradas. Deste modo, no presente estudo, optou-se por analisar o efeito do fenômeno de difusão em corpos com geometria de parede infinita, considerando a condição de contorno convectiva (terceiro tipo), por meio da utilização de soluções numéricas.

2.6.2.1 Geometria: parede infinita

Para a obtenção de um resultado mais fidedigno é necessário realizar a escolha de uma geometria que mais se assemelhe com a forma do produto em questão. Dentre as geometrias mais utilizadas, pode-se destacar a parede infinita (coordenadas cartesianas), cilindros, esferas, dentre outras (RODRIGUES et al., 2015).

Ao utilizar a geometria de parede infinita (Figura 2.9), resolve-se o problema de difusão unidimensional através da Equação 2.7:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial M}{\partial x} \right) \quad (2.7)$$

onde: \underline{M} é o teor de umidade, \underline{M}_{eq} é o teor de umidade de equilíbrio e \underline{M}_i é o teor de umidade no início do processo.

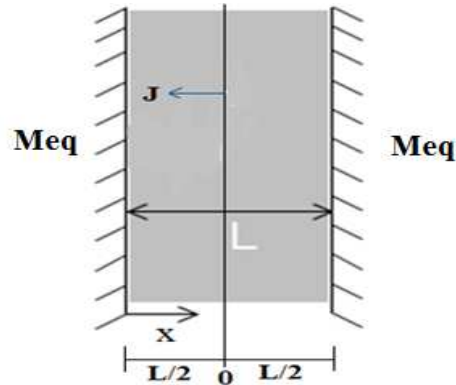


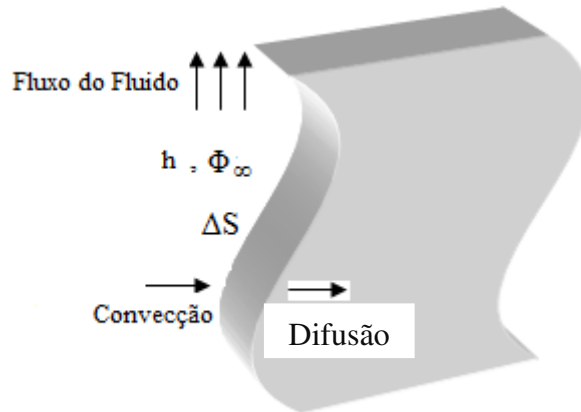
Figura 2.9 – Representação esquemática de uma parede infinita
Fonte: Farias et al. (2018)

onde: \underline{J} representa o fluxo de massa e \underline{M}_{eq} o teor de umidade de equilíbrio.

2.6.2.2 Condição de contorno: convectiva (terceiro tipo)

A literatura aborda três tipos de condição de contorno: de equilíbrio (primeiro tipo), com fluxo prescrito (segundo tipo) e convectiva (terceiro tipo).

A condição de contorno convectiva, também denominada de condição de contorno de terceiro tipo ou de terceira espécie (Figura 2.10), consiste em uma circunstância em que o deslocamento da grandeza de interesse (M), ocorrente na superfície do produto, dá-se por convecção para um fluido ambiente, com um determinado valor de grandeza dado por Φ_{∞} . Neste tipo, considera-se que o fluxo por difusão no interior da superfície do produto é compatível ao fluxo por convecção derivado da transferência da grandeza M entre a superfície e o fluido (FRANCO, 2016).



$$\left(\begin{array}{l} \text{Fluxo da grandeza que chega} \\ \text{no exterior da superfície} \\ \text{por convecção do fluido} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{Fluxo da grandeza que chega} \\ \text{no interior da superfície} \\ \text{por difusão da grandeza} \end{array} \right)$$

Figura 2.10 – Representação da condição de contorno convectiva (terceiro tipo)
 Fonte: Farias et al. (2018)

2.6.2.3 Soluções para a equação de difusão

Existem dois tipos de soluções para a resolução da equação de difusão: solução analítica e solução numérica. A primeira apresenta a vantagem de propor o valor exato da variável de interesse em qualquer ponto e em qualquer período de tempo, contudo, não considera as variações de aspectos físicos ou das dimensões do produto, em casos mais complexos, enquanto a segunda destaca-se por permitir uma abordagem mais complexa do problema (SILVA JÚNIOR, 2015).

2.6.2.3.1 Soluções analíticas

- Vantagens: solução fechada, ou seja, calcula os valores das variáveis dependentes em nível infinitesimal, para um número infinito de pontos;
- Desvantagem: só trabalha com parâmetros constantes e desconsidera a variação volumétrica;

Ademais, as soluções analíticas também são utilizadas para validar soluções numéricas desenvolvidas.

2.6.2.3.2 Solução numérica

A solução numérica é caracterizada por um cenário em que um domínio contínuo é substituído por um domínio discreto, e a equação diferencial parcial é substituída por equações algébricas, sendo uma para cada volume de controle. Esse tipo de solução apresenta a vantagem de possuir a capacidade de aproximar o modelo do produto para as condições físicas mais realísticas (MALISKA, 2004; SILVA, 2012).

- Resolve uma ou mais equações diferenciais, substituindo as derivadas por expressões algébricas que envolvam a função incógnita.
- Obtém como resultado um sistema de equações onde as variáveis são os valores da grandeza.
- A solução é obtida para um número discreto de pontos e a grandeza calculada no ponto, o que pode induzir erros;
- Quanto maior o número de pontos, mais perto da solução exata será a solução numérica.
- Trata o modelo objeto de estudo para as condições físicas reais (parâmetros variáveis, variação volumétrica, dentre outros).

Nesse contexto, ante ao avanço tecnológico das técnicas computacionais, vários métodos numéricos capazes de analisar problemas de alta complexidade têm sido utilizados, dentre os quais: Método das Diferenças Finitas (MDF), Método dos Elementos Finitos (MEF) e Método dos Volumes Finitos (MVF) (LIMA, 1999).

De acordo com Maliska (2004), o MDF diz respeito à uma divisão discreta do domínio e à substituição das derivadas parciais por aproximações numéricas. Enquanto que o MEF consiste em dividir o domínio de integração em um número finito de pequenas regiões, intituladas por elementos finitos. Ademais, ambos não consideram volumes de controle, consideram, portanto, pontos da malha em nível discreto.

Já no MVF, o domínio contínuo é subcategorizado em domínios de volumes elementares intitulados volumes de controles ou volumes finitos. Tais domínios baseiam-se na lei da conservação. Esse método é bastante utilizado na resolução de problemas que envolvem transferência de calor e massa por ser considerado mais estável e por não apresentar confluência entre os dados gerados (SILVA, 2012).

3 METODOLOGIA

3.1 LOCAL DA PESQUISA

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Técnica Dietética (LATED), Laboratório de Tecnologia de Alimentos (LTA), e Laboratório de Bromatologia (LABROM), localizados no Centro de Educação de Saúde (CES) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)-*Campus Cuité*-PB.

3.2 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Os melões (*Cucumis melo L.*) foram obtidos na feira livre do município de Cuité, localizado no Curimataú da Paraíba. Na oportunidade, foram observados critérios de integridade física e fisiológica da casca, bem como período de maturação ideal (Figura 3.1).



Figura 3.1 – Representação dos melões utilizados para a realização dos experimentos
Fonte: Autoria própria (2020).

3.3 PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS

Após a obtenção, os frutos foram submetidos à uma higienização prévia, que consistiu em uma lavagem em água corrente, auxiliada por uma esponja, para a remoção da sujidade externa.

Posteriormente, para a realização do corte manual das cascas com o auxílio de uma faca inox, foi utilizado, previamente, um paquímetro digital (marca *Stainless Hardened*) com o objetivo de demarcar as medidas de comprimento e largura de 40x40mm, respectivamente. Após a retirada das amostras em formato quadrado, foi retirado o excesso de polpa acoplado, e

as espessuras foram padronizadas em medidas de aproximadamente 5mm, com o paquímetro digital.

Em seguida, as amostras passaram por um processo de higienização em água corrente e posteriormente em solução clorada de 200ppm durante 15 minutos, após esse período, foram novamente higienizadas em água corrente e acondicionadas, durante 20 minutos, em um recipiente poroso para o escoamento da água. Ao final, algumas amostras foram submetidas ao pré-tratamento de desidratação osmótica antes da secagem, e outras foram direcionadas imediatamente ao processo de secagem.

Esse processo está sintetizado no fluxograma abaixo (Figura 3.2):

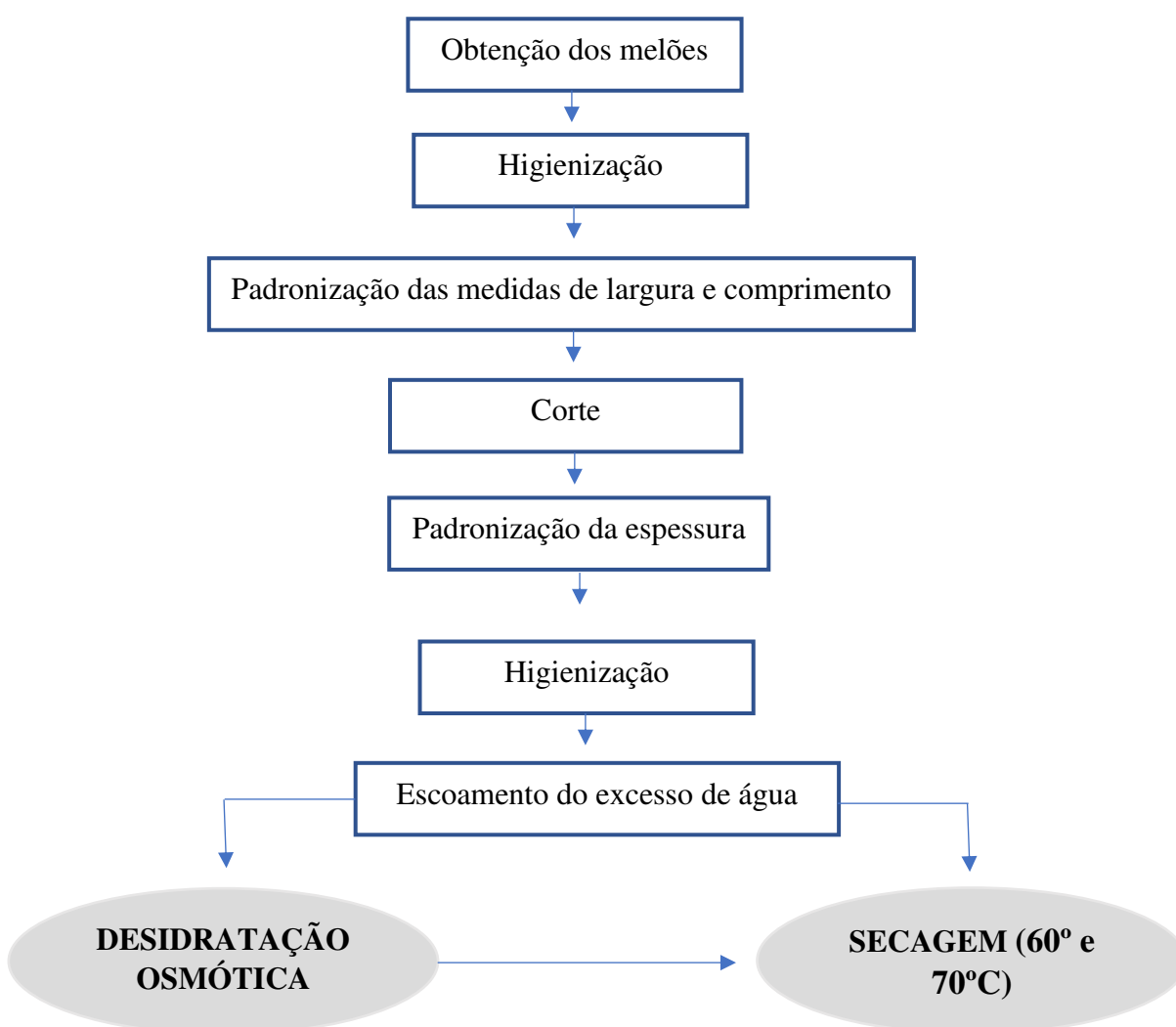


Figura 3.2 – Fluxograma do processamento das amostras de cascas de melão.

Fonte: Autoria própria (2020).

3.4 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

Para a realização do processo de desidratação osmótica, foi utilizada como base a metodologia proposta por Silva Júnior (2015).

A solução utilizada para a desidratação foi composta por água destilada e açúcar cristal comercial, preparada na proporção de 1:3 (g/g) (casca para solução) na concentração de 20° Brix. Essa razão teve o objetivo de manter as concentrações padronizadas e, portanto, inalteradas durante os experimentos. Ademais, a escolha da proporção supramencionada foi baseada na afirmação de Karathanos, Kostaropoulos e Saravacos (1995), que elucidam que para fins práticos, 1:3 é considerada uma razão ótima. Para tanto, as concentrações foram controladas através de um refratômetro portátil.

Das amostras, um quadrado in natura foi submetido à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 105°C por 24 horas, para a obtenção da massa seca, enquanto que as demais foram colocadas na solução e permaneceram por 35 horas em temperatura ambiente. A temperatura e umidade relativa do ar foram monitoradas através de um higrômetro, nos tempos 0, 900, 1200 e 1500 minutos. Após as 35 horas, as amostras foram lavadas com água destilada e levemente enxugadas com papel toalha para a remoção do excesso de água.

Posteriormente, um dos quadrados submetidos à desidratação foi conduzido à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 105°C por 24 horas ininterruptas, visando a determinação da massa seca, enquanto que os demais seguiram imediatamente para o procedimento de secagem a 60°C e 70°C.

Para a obtenção do valor da incorporação da sacarose à amostra, foi calculada a diferença entre a massa seca da amostra in natura, com a da desidratada osmoticamente.

As amostras imersas na solução osmótica podem ser visualizadas na Figura 3.3.



Figura 3.3 – Cascas de melão durante o pré-tratamento de desidratação osmótica.

Fonte: Autoria própria (2020).

3.5 SECAGEM CONVECTIVA

Os experimentos de secagem convectiva foram realizados em uma estufa de circulação e renovação forçada de ar, previamente estabilizada, utilizando a técnica de secagem contínua, para as temperaturas de 60° e 70°C. Estes, foram divididos em quatro grupos, sendo dois referentes às amostras pré-tratadas com desidratação osmótica, para cada temperatura supramencionada, e dois referentes às amostras sem tratamento prévio, submetidas às mesmas temperaturas.

Após o preparo, as cascas foram acomodadas em cestos de arame galvanizado, devidamente pesados em uma balança de precisão da marca RADWAG Wagi Elektroniczne, modelo OS 360/c/1, com precisão de leitura de 0,001g e capacidade de pesagem máxima de 360g. As análises foram conduzidas em triplicata para minimizar erros de medida, portanto, seis cestos foram utilizados para cada experimento, três deles contendo um quadrado de casca de melão (para medir o encolhimento) e os outros três contendo seis quadrados por cesto, organizados em camada delgada (para medir a massa), todos devidamente rotulados (Figura 3.4). Antes do procedimento de secagem, as amostras destinadas à análise do encolhimento foram aferidas em dois determinados locais, através do paquímetro digital, enquanto que aquelas destinadas à análise da massa foram pesadas na balança analítica.

Posteriormente, as amostras foram submetidas à secagem nas temperaturas já mencionadas, em uma estufa da marca DeLeo/tlk 48, de precisão de 0,1°C e controlador de temperatura através de termostato entre 50 a 250°C. Durante o procedimento, para todas as análises de massa e encolhimento, as pesagens e a verificação de medidas decorreram simultaneamente nos intervalos de tempos que variaram de 2 a 5 minutos no início da secagem até cerca de 2 ou 3 h no final do processo. As variações no intervalo de tempo foram diferentes para cada temperatura de secagem. Este procedimento aconteceu até o momento em que a massa atingiu o seu valor de equilíbrio. Após o alcance do teor de umidade de equilíbrio, as amostras destinadas à análise da massa foram submetidas à secagem em estufa previamente estabilizada a 105°C durante 24h, para a obtenção da massa seca.



Figura 3.4 – Amostras destinadas à secagem convectiva: (a) Cascas de melão utilizadas para análise de massa; (b) Cascas de melão utilizadas para análise de encolhimento.
Fonte: Autoria própria (2020).

3.6 MODELAGEM MATEMÁTICA

Foram utilizados modelos empíricos e difusivos para realização dos ajustes aos dados experimentais obtidos.

3.6.1 Descrição da cinética de secagem através de modelos empíricos

Foram testados seis modelos empíricos com o objetivo de identificar aquele que demonstra melhor eficácia na descrição da cinética de secagem da casca do melão, os quais estão expressos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Modelos empíricos para descrever a cinética de secagem.

| Modelo | Nome | Expressão | Referência |
|--------|-------------------|------------------------------|-------------------------|
| 1 | Page | $M^* = \exp(-at^b)$ | (DIAMANTE et al., 2010) |
| 2 | Silva et al | $M^* = \exp(-at - bt^{1/2})$ | (SILVA et al., 2012) |
| 3 | Peleg | $M^* = 1 - t/(a + bt)$ | (MERCALI et al., 2010) |
| 4 | Wang Singh | $M^* = 1 + at + bt^2$ | (KALETA; GORNICK, 2010) |
| 5 | Lewis | $M^* = \exp(-at)$ | (KALETA; GORNICK, 2010) |
| 6 | Henderson e Pabis | $M^* = a \exp(-bt)$ | (DIAMANTE et al., 2010) |

Fonte: Autoria própria (2020).

Para a análise dos dados experimentais, foi utilizado o *software LAB Fit Curve Fitting Software* (SILVA; SILVA, 2011). Os parâmetros de avaliação utilizados para identificar o melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais foram o Coeficiente de Determinação (R^2) mais próximo de 1, e o Qui-quadrado (χ^2) mais próximo de 0.

3.6.2 Descrição da cinética de secagem através de modelos difusivos

Como se sabe, o estudo da secagem, em diversas situações, usa a teoria da difusão para descrever o transporte de matéria em um meio (Silva et al., 2012). Como resultado, o modelo matemático apropriado para descrever o fenômeno envolve a resolução da equação de difusão. Para paredes infinitas, a equação de difusão unidimensional, em coordenadas cartesianas, pode ser expressa da seguinte forma (Luikov, 1968; Crank, 1992):

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial M}{\partial x} \right) \quad (3.1)$$

onde M é o teor de umidade em base seca (kg água kg^{-1} matéria seca); D é a difusividade de massa efetiva ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$); t é o (s) tempo (s) e x é a coordenada cartesiana da posição (m) dentro da parede infinita com origem no centro.

A solução da equação de difusão requer a necessidade de se estabelecer certas hipóteses na descrição do processo físico. Neste trabalho, as premissas para resolver a Equação (3.1) são: (1) a difusão líquida é o único mecanismo de transporte dentro da parede; (2) a espessura E

varia durante a secagem, mas a forma do sólido permanece constante durante o período considerado; (3) a difusividade de massa efetiva varia durante a secagem; (4) o coeficiente de transferência de massa convectiva permanece constante durante a secagem; (4) a distribuição inicial da umidade é uniforme; (4) a parede infinita é considerada homogênea e isotrópica; (5) a origem do eixo x localiza-se no ponto central da parede, explorando, assim, a condição de simetria do corpo; (6) durante o processo não há mudança de fase da água.

O método utilizado na discretização da equação de difusão foi o método dos volumes finitos com uma formulação totalmente implícita. A razão para essa escolha é que a solução é incondicionalmente estável para qualquer intervalo de tempo.

3.6.2.1 Solução numérica para a condição de contorno de terceiro tipo

O primeiro passo para resolver numericamente a Equação (3.1) foi a discretização do domínio contínuo em subdomínios, chamados de volumes de controle (VC). A Figura 3.5b mostra uma parede infinita com espessura E (m) e a malha obtida com a discretização. Na malha existem N volumes de controle, dividido em três tipos distintos: os volumes de controle interno (P), os quais possuem volumes de controle vizinhos a oeste (W) e a leste (E); o volume de controle externo a leste, o qual possui volume de controle vizinho a oeste e está em contato com o meio externo a leste (E); e finalmente o primeiro volume de controle que possui vizinho a leste e fluxo zero a oeste (W), devido à simetria. Estes tipos de volumes de controle podem ser vistos na Figura 3.5c. As letras minúsculas "w" e "e" referem-se às interfaces do volume de controle "P" para oeste e leste, respectivamente.

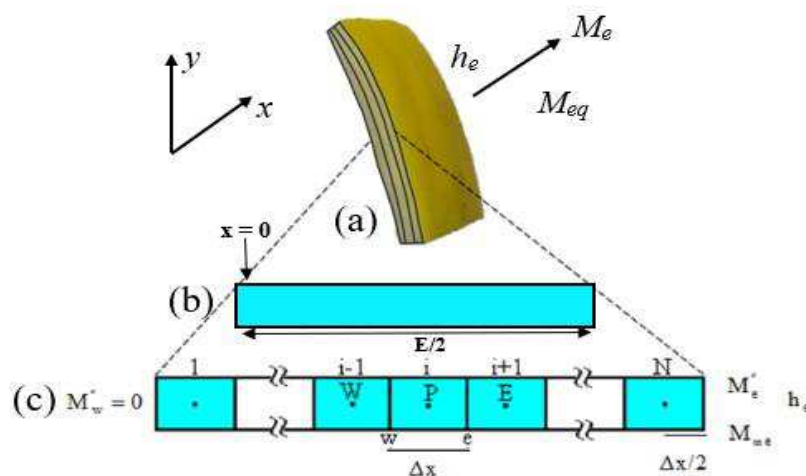


Figura 3.5 – Representação dos domínios (sem escala): (a) domínio físico; (b) domínio contínuo; (c) domínio discretizado.

Fonte: (a) – Autoria própria (2020); (b) e (c) – Adaptada de Silva (2009)

Integrando a Equação (3.1), de forma discretizada, sobre o espaço (Δx) e o tempo (de t até $t + \Delta t$) obtemos o seguinte resultado:

$$\frac{M_P - M_P^0}{\Delta t} \Delta x = \left(D_e \frac{\partial M}{\partial x} \Big|_e - D_w \frac{\partial M}{\partial x} \Big|_w \right) \quad (3.2)$$

em que o sobrescrito “0” significa “tempo anterior t ” e sua ausência significa “tempo atual $t + \Delta t$ ”.

3.6.2.2 Volumes de controle interno

Estes volumes de controle não têm contato com meio externo e possuem dois volumes de controle vizinhos, um a oeste e outro a leste (Figura 3.5). Para estes volumes de controle, as derivadas parciais podem ser aproximadas do seguinte modo:

$$\frac{\partial M}{\partial x} \Big|_e \cong \frac{M_E - M_P}{\Delta x}; \quad \frac{\partial M}{\partial x} \Big|_w \cong \frac{M_P - M_W}{\Delta x} \quad (3.3a,b)$$

Assim, para um volume de controle interno, a equação discretizada pode ser escrita como:

$$A_w M_W + A_p M_P + A_e M_E = B \quad (3.4)$$

onde os coeficientes são dados por:

$$A_p = \frac{\Delta x}{\Delta t} + \frac{D_e}{\Delta x} + \frac{D_w}{\Delta x}; \quad A_w = -\frac{D_w}{\Delta x}; \quad A_e = -\frac{D_e}{\Delta x} \quad \text{e} \quad B = \frac{\Delta x}{\Delta t} M_P^0 \quad (3.5a-d)$$

3.6.2.3 Volumes de controle 1

Para o primeiro volume de controle, o contorno oeste é o ponto denotado por w , que está na posição $x = 0$. Devido à simetria, a condição de contorno utilizada foi o segundo tipo, com fluxo zero. Assim, o terceiro termo na Equação (3.2) é zero e a seguinte equação algébrica foi obtida:

$$A_p M_p + A_e M_e = B \quad (3.6)$$

onde os coeficientes A_p e A_e são dados por:

$$A_p = \frac{\Delta x}{\Delta t} + \frac{D_e}{\Delta x}; \quad A_e = -\frac{D_e}{\Delta x}; \quad B = \frac{\Delta x}{\Delta t} M_p^0 \quad (3.7 \text{ a-c})$$

3.6.2.4 Volumes de controle N

Este subdomínio possui um volume de controle vizinho a oeste, e está em contato com o meio do lado leste. Portanto, as derivadas da Equação (3.2) foram aproximadas por:

$$\left. \frac{\partial M}{\partial x} \right|_e \cong \frac{M_e - M_p}{\Delta x/2}; \quad \left. \frac{\partial M}{\partial x} \right|_w \cong \frac{M_p - M_w}{\Delta x} \quad (3.8 \text{ a,b})$$

onde: M_e é o valor de M no limite leste. Para este volume de controle, a condição de contorno do terceiro tipo é expressa por:

$$-D \left. \frac{\partial M}{\partial x} \right|_e \cong h_e (M_e - M_{\infty e}) \quad (3.9)$$

onde h_e é o coeficiente de transferência de massa convectiva no limite leste, e $M_{\infty e}$ é o teor de umidade de equilíbrio. Combinando as Equações (3.8a) e (3.9) para expressar M_e , e substituindo M_e na Equação (3.8a), esta nova equação e também a Equação (3.8b) podem ser usadas para reescrever a Equação (3.2). A seguinte equação algébrica é obtida:

$$A_w M_w + A_p M_p = B \quad (3.10)$$

no qual:

$$A_w = -\frac{D_w}{\Delta x}; \quad A_p = \frac{\Delta x}{\Delta t} + \frac{D_w}{\Delta x} + \frac{D_e}{\frac{D_e}{h_e} + \frac{\Delta x}{2}}; \quad B = \frac{\Delta x}{\Delta t} M_p^0 + \frac{D_e}{\frac{D_e}{h_e} + \frac{\Delta x}{2}} M_{\infty e} \quad (3.11 \text{ a-c})$$

Na Equação (3.11c), M_p^0 é o teor de umidade no volume de controle P no início da etapa de tempo.

O valor médio de M em qualquer instante, denotado por \bar{M} , foi calculado por uma média aritmética dos conteúdos de umidade obtidos para os volumes de controle, uma vez que a grade estabelecida é uniforme.

3.6.2.5 Difusividade de massa e encolhimento

A solução numérica da equação de difusão com condição de contorno de terceiro tipo foi determinada assumindo a retração do produto e a variação da difusividade de massa efetiva em função do valor local (M). O parâmetro D nos pontos nodais de cada volume de controle depende do valor de M no ponto nodal P, conforme mostrado na Equação (3.12):

$$D = f(M, a, b) \quad (3.12)$$

onde “a” e “b” são parâmetros que se ajustam à solução numérica para um conjunto de dados experimentais e, juntamente com a função f, são determinadas através de processos. Para uma malha uniforme, nas interfaces dos volumes de controle interno, por exemplo, " e " (ver Figura 3.5), D é determinado através da média harmônica (PATANKAR, 1980):

$$D_e = \frac{2D_p D_E}{D_p + D_E} \quad (3.13)$$

onde D_p e D_E são o valor da difusividade de massa efetiva nos pontos nodais “ P ” e “ E ”, respectivamente.

O encolhimento das fatias de casca de melão ao longo do processo foi incorporado ao modelo matemático. Considerando E como a espessura da parede infinita, assumiu-se que essas dimensões variam de acordo com o valor médio da quantidade de água, mas sem alteração significativa de sua forma geométrica. Em geral, essas dimensões podem ser representadas por:

$$E = g(\bar{M}) \quad (3.14)$$

onde \bar{M} é o valor médio do teor de umidade e g é uma função a ser determinada por ajuste de curvas, através dos dados experimentais obtidos para esta dimensão.

3.6.2.6 Algoritmo de otimização usando solução numérica

Dentre os métodos usados para determinar parâmetros que descrevem um processo, o método inverso merece uma atenção particular, por ser usado em várias áreas da ciência e engenharia (SILVA et al. 2012). O método inverso é um método iterativo em que são atribuídos valores aos parâmetros de interesse, seguido da solução da equação que descreve o sistema, sendo que os resultados obtidos são comparados com os dados experimentais relativos ao sistema. A partir da comparação, novos valores para os parâmetros são estabelecidos, e o processo continua até que os resultados simulados possam ser considerados suficientemente próximos dos resultados experimentais. Esta comparação envolve a minimização de uma função, denominada de função objetivo, neste caso, a função qui-quadrado. Assim, os parâmetros a e b da função obtida para difusividade, representados genericamente pela Equação (3.12), e o coeficiente de transferência de massa convectiva (h), foram determinados através de um algoritmo de otimização acoplado ao software “*Infinite Slab numerical*”, desenvolvido por SILVA JUNIOR et al. (2019). O software dispõe de vários menus, um deles é o menu “Otimização”, que busca uma expressão para a difusividade. Quando o usuário opta por pesquisar uma função que represente D , o *software* apresenta uma caixa de diálogo com 30 funções para que seja informada qual das expressões apresentadas se deseja otimizar. Uma vez que os parâmetros ótimos são determinados, é possível simular o problema para várias configurações de malha e de passos de tempo utilizando o menu “*Simulation*”. Este *software* resolve qualquer problema que envolve fenômenos de difusão, cuja geometria pode ser aproximada para parede infinita.

3.7 ELABORAÇÃO DAS FARINHAS DA CASCA DO MELÃO

Após o procedimento de secagem, as amostras foram transformadas em farinha. Assim, foram elaboradas quatro formulações:

- (a) Farinha da Casca do Melão Sem Desidratação Osmótica – secagem a 60°C (FCMSDO 60°C);

- (b) Farinha da Casca do Melão Sem Desidratação Osmótica – secagem a 70°C (FCMSDO 70°C);
- (c) Farinha da Casca do Melão Com Desidratação Osmótica – secagem a 60°C (FCMCDO 60°C);
- (d) Farinha da Casca do Melão Com Desidratação Osmótica – secagem a 70°C (FCMCDO 70°C);

Nas oportunidades, as cascas secas foram submetidas, respectivamente, à trituração em um liquidificador industrial da marca Colombo *Premium*, modelo BR, com capacidade total de 4 litros. Posteriormente, as amostras foram embaladas em sacos plásticos, codificadas e encaminhadas imediatamente para as análises físico-químicas.

3.7.1 Caracterização físico-química das farinhas da casca do melão

Foi realizada a caracterização físico-química das quatro formulações das farinhas. Todas as análises foram conduzidas em triplicata para minimizar erros de medida.

3.7.1.1 Determinação da umidade

A análise da umidade foi realizada através do método de secagem direta em estufa a 105°C, de acordo com a *Association of Official Agricultural Chemists - AOAC* (2005).

A princípio, foram colocadas na estufa cápsulas de alumínio por um período de uma hora. Posteriormente, as cápsulas foram retiradas e colocadas no dessecador para o alcance da temperatura ambiente, onde permaneceram por aproximadamente 20 minutos. Após o período aludido, os pesos foram aferidos e anotados e, em cada cápsula, foram adicionados cerca de 3,0g da farinha.

Por fim, as amostras foram conduzidas à estufa previamente estabilizada a 105°C, onde permaneceram por 24 horas. Em seguida, foram transferidas para o dessecador para a obtenção da temperatura ambiente e, posteriormente, foi realizada a aferição da massa seca através de uma balança analítica. Para a obtenção do teor de umidade, foi executado o cálculo exposto na Equação (3.15).

$$\text{Umidade (\%)} = \frac{N \times 100}{P} \quad (3.15)$$

Onde: N= perda de peso (amostra seca); P = peso da amostra úmida (g ou mL).

3.7.1.2 Determinação de cinzas ou resíduo mineral fixo (RMF)

As cinzas ou RMF foram determinadas com base na metodologia proposta por Adolfo Lutz (2008).

Inicialmente, foram colocadas na mufla, cápsulas de porcelana, sob uma temperatura de 550°C, onde permaneceram durante 24 horas. Após esse período, as cápsulas foram retiradas e conduzidas ao dessecador até o alcance da temperatura ambiente, posteriormente, foi realizada a pesagem.

Em seguida, foram adicionados cerca de 3g das amostras nas cápsulas. Assim, as amostras foram colocadas em uma manta aquecedora até a completa carbonização. Logo após, as quais foram encaminhadas para a incineração em forno mufla estabilizado a 550°C, onde permaneceram por cinco horas ininterruptas, para a eliminação total do carvão e a obtenção de coloração esbranquiçada. Ao fim das cinco horas, as amostras foram submetidas ao dessecador para o esfriamento e tiveram o peso mensurado em uma balança analítica. Os processos de aquecimento em mufla, esfriamento e pesagem aconteceram em intervalos de uma hora, até o momento em que as amostras atingiram o peso constante. A Equação 3.16 foi realizada para a determinação das cinzas.

$$\text{Cinzas (\%)} = \frac{100 \times N}{P} \quad (3.16)$$

Onde: N = peso (g) de cinzas; P = peso (g) de amostra.

3.7.1.3 Determinação da atividade de água (Aw)

A atividade de água foi analisada por meio da leitura direta no higrômetro *AquaLab* 4TEV (Decagon Devices).

3.7.1.4 Determinação de lipídeos

O teor de lipídeos foi obtido com base na metodologia de Folch; Lees; Stanley (1957). A princípio, foi adicionado 2,0g da amostra, seguida de 30 mL da solução de clorofórmio metanol. Em seguida, essa mistura foi colocada em um funil revestido por um filtro de papel e

acoplado em uma proveta graduada, onde foi realizada a filtragem da mistura. Posteriormente, foi adicionado mais 10 mL de clorofórmio metanol para uma segunda filtragem.

Após as etapas de filtrações, a quantidade do líquido filtrado foi anotada e, o valor de 20% desse líquido foi adicionado de solução de sulfato de sódio a 1,5%, havendo, posteriormente, a agitação e a separação de fases da mistura.

Com a separação das fases, o líquido superior foi descartado e o valor do inferior foi anotado e, deste, foram retiradas três alíquotas de 5 mL, as quais foram submetidas a 105°C em estufa durante cinco minutos, com posterior esfriamento em dessecador durante 20 minutos, e pesagem em balança analítica. Ao final, foi realizada a Equação (3.17).

$$\text{Gordura (\%)} = \frac{(P_1 \times V_b) \times 100}{V_a \times P_2} \quad (3.17)$$

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 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram compilados em planilha personalizada do programa Microsoft Office Excel 2016 e posteriormente submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, através do Software Assistat.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

Tanto as amostras pré-desidratadas que foram posteriormente secas a 60°C, quanto aquelas que foram posteriormente secas a 70°C, passaram pelas mesmas condições durante o procedimento de desidratação osmótica, apesar de terem sido realizados em dias distintos. Assim, a umidade relativa do ar durante os dois procedimentos de desidratação osmótica variou entre 62% e 77%, enquanto que a temperatura ambiente variou entre 27,7°C e 29°C.

A incorporação da sacarose à amostra, por sua vez, pode ser observada através da Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Incorporação da sacarose após o procedimento de desidratação osmótica

| Amostras | Massa seca da amostra in natura | Massa seca da amostra pré-tratada | Incorporação da sacarose |
|------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| CMCDO 60°C | 0,83g | 1,08g | 0,25g |
| CMCDO 70°C | 0,51g | 1,19g | 0,68g |

CMCDO 60°C: casca do melão com desidratação osmótica – 60°C; CMCDO 70°C: casca do melão com desidratação osmótica – 70°C.

Como ambos os experimentos foram realizados sob as mesmas condições procedimentais, inclusive, a concentração de sacarose foi a mesma (20°Brix), a Tabela 4.1 demonstra apenas a capacidade que o procedimento de desidratação osmótica possui de aumentar a massa seca do produto, em consequência, obviamente, da incorporação do soluto. Entretanto, como exposto, as amostras que foram submetidas, posteriormente, à secagem a 70°C apresentaram uma maior incorporação da sacarose.

4.2 DADOS EXPERIMENTAIS DA SECAGEM

Para o teor de umidade adimensional, bem como, para expressar todas as funções, no presente estudo foi utilizada a taxa de umidade, que é definida como:

$$M^* = \frac{M(t) - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} \quad (4.1)$$

onde: M^* é a razão de umidade média do produto, na sua forma adimensional; M é o teor de umidade médio do produto em base seca; M_{eq} é o teor de umidade de equilíbrio do produto em base seca; M_i é o teor de umidade inicial do produto em base seca.

As principais medidas relacionadas aos quatro experimentos estão expressas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Dados experimentais das secagens da casca do melão

| Experimentos | M_i (d.b.) | M_{eq} (d.b.) | E_0 (mm) | E_{eq} (mm) |
|---------------------------------|--------------|-----------------|------------|---------------|
| 60 °C sem desidratação osmótica | 13,278 | 0,157 | 5,09 | 1,26 |
| 70 °C sem desidratação osmótica | 14,067 | 0,109 | 5,11 | 1,04 |

| | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|------|------|
| 60 °C com desidratação osmótica | 7,699 | 0,218 | 4,58 | 1,07 |
| 70 °C com desidratação osmótica | 6,949 | 0,128 | 4,55 | 1,13 |

M_i (d.b.) teor de umidade inicial; M_{eq} (d.b.) teor de umidade de equilíbrio; E_0 (mm) espessura inicial; E_{eq} (mm) espessura final.

Ante ao exposto, torna-se perceptível que quanto maior a temperatura, menor é o teor de umidade de equilíbrio. Observa-se ainda que as amostras submetidas à desidratação osmótica antes do procedimento de secagem tiveram os valores do teor de umidade inicial consideravelmente reduzidos, bem como, os valores de espessura inicial. No entanto, os resultados apresentados para o teor de umidade de equilíbrio foram superiores.

4.3 MODELOS EMPÍRICOS UTILIZADOS NA MODELAGEM DOS DADOS EXPERIMENTAIS

Na Tabela 4.3 estão expressos os resultados referentes aos parâmetros utilizados para determinar o melhor ajuste dos dados experimentais aos modelos empíricos.

Tabela 4.3 - Parâmetros de ajuste dos modelos empíricos aos dados experimentais da secagem

| Temperaturas | Modelo | A | B | R ² | χ ² |
|-------------------------------|--------|---------------------------|---------------------------|----------------|--------------------------|
| 60°C sem desidrata o osmótica | 1 | 6,08437x10 ⁻⁴ | 1,21436 | 0,9944103 | 3,29459x10 ⁻² |
| | 2 | 2,65505x10 ⁻³ | -7,78007x10 ⁻² | 0,9908402 | 5,25999x10 ⁻² |
| | 3 | 4,81082x10 ² | 5,68196x10 ⁻¹ | 0,9947624 | 2,63538x10 ⁻² |
| | 4 | -1,64842x10 ⁻³ | 6,67395x10 ⁻⁷ | 0,9991053 | 6,93097x10 ⁻³ |
| | 5 | 2,26139x10 ⁻³ | - | 0,9900321 | 6,78609x10 ⁻² |
| | 6 | 1,01611 | 2,31040x10 ⁻³ | 0,9891133 | 6,45679x10 ⁻² |
| 70°C sem desidrata o osmótica | 1 | 6,75440x10 ⁻⁴ | 1,23005 | 0,9970583 | 1,72637x10 ⁻² |
| | 2 | 3,28967x10 ⁻³ | -1,20212x10 ⁻² | 0,9938914 | 3,59395x10 ⁻² |
| | 3 | 3,66102x10 ² | 6,70629x10 ⁻¹ | 0,9862271 | 7,44091x10 ⁻² |
| | 4 | -1,75243x10 ⁻³ | 6,94655x10 ⁻⁷ | 0,9853550 | 9,88557x10 ⁻² |
| | 5 | 2,61291x10 ⁻³ | - | 0,9929952 | 6,61230x10 ⁻² |
| | 6 | 1,03711 | 2,74221x10 ⁻³ | 0,9911874 | 5,45443x10 ⁻² |
| 60°C com desidrata o osmótica | 1 | 6,2495x10 ⁻⁴ | 1,2509 | 0,9975690 | 1,6625x10 ⁻² |
| | 2 | 3,3938x10 ⁻³ | -1,1346x10 ⁻² | 0,9944805 | 3,7271x10 ⁻² |
| | 3 | 3,6813x10 ² | 6,3840x10 ⁻¹ | 0,9918402 | 4,8303x10 ⁻² |
| | 4 | -1,9520x10 ⁻³ | 9,1972x10 ⁻⁷ | 0,9985533 | 9,5410x10 ⁻³ |
| | 5 | 2,7537x10 ⁻³ | - | 0,9932857 | 6,29x10 ⁻² |
| | 6 | 1,0263 | 2,8518x10 ⁻³ | 0,9920959 | 5,4741x10 ⁻² |
| 70°C com desidrata o osmótica | 1 | 1,2790x10 ⁻³ | 1,2062 | 0,9982457 | 8,9680x10 ⁻³ |
| | 2 | 4,7756x10 ⁻³ | -1,1792x10 ⁻² | 0,9960964 | 2,009x10 ⁻² |
| | 3 | 2,3657x10 ² | 6,9340x10 ⁻¹ | 0,9882594 | 5,5511x10 ⁻² |
| | 4 | -2,4643x10 ⁻³ | 1,3x10 ⁻⁶ | 0,9845639 | 8,5484x10 ⁻² |
| | 5 | 3,9398x10 ⁻³ | - | 0,9952473 | 3,6670x10 ⁻² |

| | | | | |
|----------|--------|-------------------------|-----------|-------------------------|
| 6 | 1,0249 | $4,0868 \times 10^{-3}$ | 0,9942682 | $3,0433 \times 10^{-2}$ |
|----------|--------|-------------------------|-----------|-------------------------|

Modelos: **1** – Page; **2** – Silva et al; **3** – Peleg; **4** – Wang e Singh; **5** – Lewis; **6** – Henderson e Pabis.
 Fonte: Autoria própria (2021).

Diante dos resultados obtidos através dos parâmetros de R^2 e χ^2 , observa-se que o modelo 4 (Wang e Singh), demonstrou a melhor descrição para os experimentos de 60°C sem desidratação osmótica e 60°C com desidratação osmótica, uma vez que os valores de R^2 foram os mais próximos de 1, e os valores de χ^2 mais próximos de 0, em comparação aos demais. Contudo, esse modelo não deve ser considerado, visto que foram preditos valores negativos para o teor de umidade, o que é fisicamente sem sentido. A inadequação do modelo pode ser visualizada através da Figura 4.1.

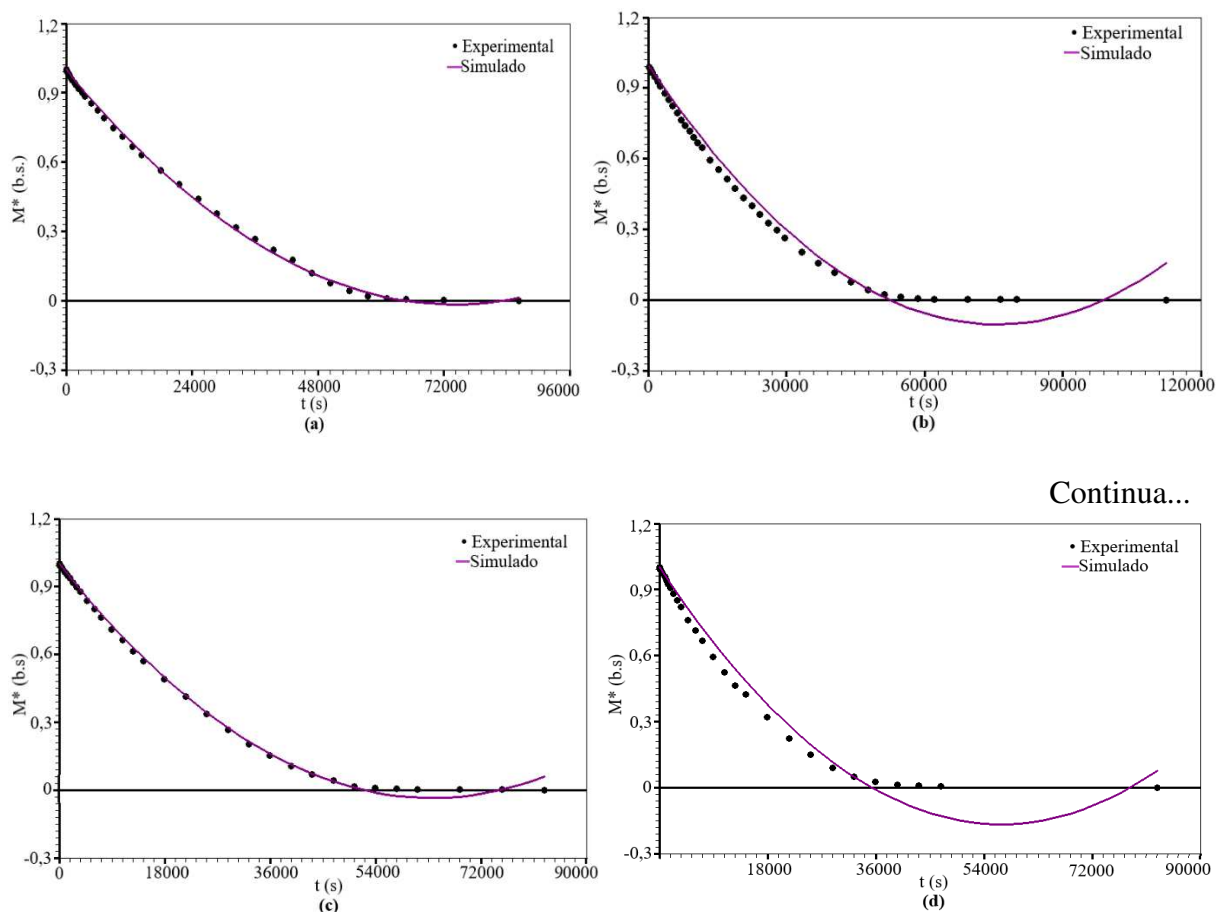


Figura 4.1 – Curvas do ajuste de Wang e Singh aos dados experimentais do teor de umidade adimensional das cascas de melão, em função do tempo em segundos: (a) 60°C sem desidratação osmótica; (b) 70°C sem desidratação osmótica; (c) 60°C com desidratação osmótica; (d) 70°C com desidratação osmótica.

Fonte: *Lab Fit Curve Fitting* (2020)

Logo, ao descartar o modelo de Wang e Singh, torna-se perceptível que apesar de o modelo 1 (Page) não ter demonstrado a melhor descrição para o experimento de 60°C sem

desidratação osmótica, foi considerado o modelo que descreveu de forma satisfatória os dados experimentais de 70°C sem desidratação osmótica ($R^2= 0,9970583$ e $\chi^2 = 1,72637 \times 10^{-2}$), 60°C com desidratação osmótica ($R^2= 0,9975690$ e $\chi^2 = 1,6625 \times 10^{-2}$) e 70°C com desidratação osmótica ($R^2= 0,9982457$ e $\chi^2 = 8,9680 \times 10^{-3}$).

Resultado semelhante foi encontrado por Lima et al. (2020), que ao analisarem a cinética de secagem de cascas do maracujá amarelo, identificaram que o modelo de Page foi o que demonstrou o melhor ajuste aos dados experimentais de secagem, especialmente para o experimento realizado sob a temperatura de 70°C, já que o de Wang e Singh apresentou valores negativos para o teor de umidade e, portanto, também teve que ser desconsiderado.

Ao comparar com os achados de Barros et al. (2019), para os quais foi utilizada a mesma matéria-prima do presente estudo, ao analisarem através de modelos empíricos a cinética de secagem a 40°C, 50°C e 60°C da casca de melão triturada, os autores elegeram o modelo de Page como o de melhor ajuste aos dados experimentais, já que foram obtidos valores de R^2 que variaram de 0,9825 a 0,9929 e de χ^2 que variaram de 0,015920 a 0,021525. Do mesmo modo, Silva (2017) ao realizar o estudo da secagem do albedo e da casca integral do maracujá, identificou que o modelo de Page foi o que descreveu a cinética de forma mais satisfatória, uma vez que foram obtidos valores de $R^2 > 0,99$ e valores de χ^2 que variaram entre 0,002818 e 0,019287.

Alves et al. (2019) elucidam em seu estudo que valores de coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,95 indicam que o modelo pode ser utilizado para prever com eficácia o comportamento da perda de umidade do produto durante o processo de secagem. Obviamente, se, além disso, o valor de χ^2 for próximo de 0, o modelo deve ser adequado. Neste sentido, o modelo de Page foi o escolhido para a análise do ajuste das curvas aos dados experimentais das secagens. Logo, os ajustes das curvas através do modelo de Page podem ser visualizados na Figura 4.2.

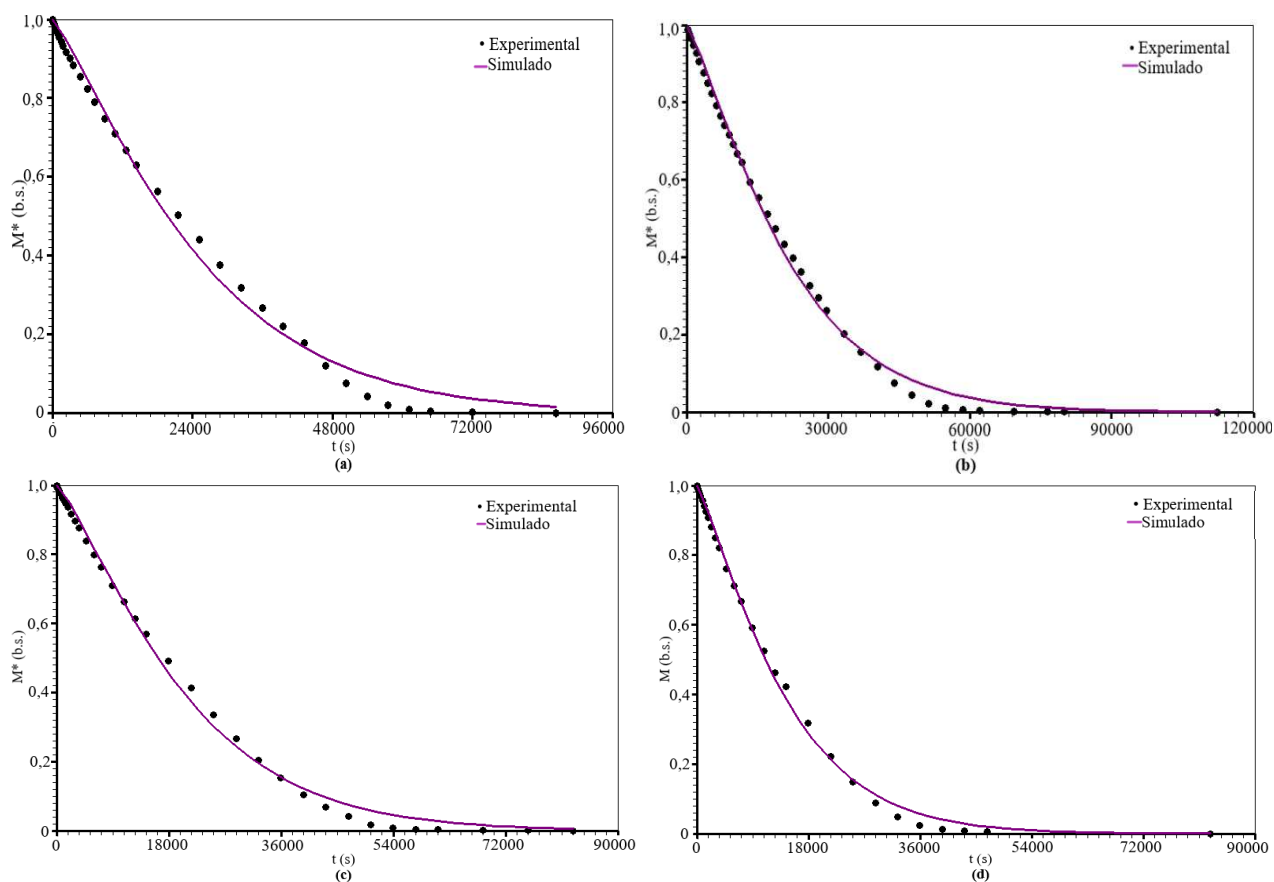


Figura 4.2 – Curvas do ajuste de Page aos dados experimentais do teor de umidade adimensional das cascas de melão, em função do tempo em segundos: (a) 60°C sem desidratação osmótica; (b) 70°C sem desidratação osmótica; (c) 60°C com desidratação osmótica; (d) 70°C com desidratação osmótica.

Fonte: *Lab Fit Curve Fitting* (2020)

Ao analisar a figura acima, percebe-se que as representações gráficas consolidam o que foi observado através dos parâmetros de R^2 e χ^2 , descritos na Tabela 4.3, indicando que o modelo de Page proporcionou o melhor ajuste aos dados experimentais, sobretudo para os experimentos realizados sob a temperatura de 70°C (gráficos b,d).

4.4 MODELOS DIFUSIVOS UTILIZADOS NA MODELAGEM DOS DADOS EXPERIMENTAIS

Como foi destacado na metodologia, a modelagem matemática proposta considera a variação da difusividade efetiva de massa e da espessura do produto.

Assim, visando incluir o encolhimento das cascas de melão na determinação dos parâmetros do processo, foi necessário determinar uma expressão que descrevesse de forma satisfatória a relação entre a espessura e o valor médio da razão de umidade, representado

genericamente pela Equação (3.14). Deste modo, a partir dos valores medidos experimentalmente para as dimensões das amostras ao longo do tempo, foram determinadas expressões por uma opção de busca de funções compactas na descrição de dados, disponível no *software* LAB fit.

A expressão de dois parâmetros encontrada para a espessura que serve para todas as temperaturas consiste na função apresentada na Equação (4.2)

$$E = A\bar{M}^{*2} + B \quad (4.2)$$

onde \bar{M}^* é o valor médio do teor de umidade.

Neste contexto, as expressões da espessura em função da razão de umidade média para cada condição experimental estão dispostas na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Evolução da espessura em função da razão de umidade média:

| Experimentos | E (10 ⁻³ m) |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| 60 °C sem desidratação osmótica | $E = 4,705 (\bar{M}^*)^2 + 0,600$ |
| 70 °C sem desidratação osmótica | $E = 4,397 (\bar{M}^*)^2 + 0,881$ |
| 60 °C com desidratação osmótica | $E = 3,645 (\bar{M}^*)^2 + 1,081$ |
| 70 °C com desidratação osmótica | $E = 3,501 (\bar{M}^*)^2 + 0,987$ |

Fonte: *Lab Fit Curve Fitting software* (2020).

Frente ao exposto, é possível identificar que à medida em que o teor de umidade reduz, a espessura das amostras também reduziu.

4.4.1 OTIMIZAÇÃO E SIMULAÇÃO ATRAVÉS DE SOLUÇÃO NUMÉRICA

De forma análoga ao procedimento utilizado para determinar a função que melhor representa a espessura (Equação 4.2), foi feito para a difusividade. A expressão $D=b.cosh(aM^2)$, apresentou os melhores resultados.

Na Tabela 4.5 estão expressos os dados da otimização utilizando o modelo de difusão através de solução numérica e condição de contorno convectiva (de terceiro tipo).

Tabela 4.5 - Resultados da otimização: parâmetros ótimos e indicadores estatísticos

| Experimentos | D (m ² s ⁻¹) | h (m s ⁻¹) | χ ² | R ² |
|---------------------------------|---|------------------------|------------------------|----------------|
| 60 °C sem desidratação osmótica | 7,51x10 ⁻¹² cosh (6,67M ^{*2}) | 8,26x10 ⁻⁸ | 2,356x10 ⁻³ | 0,99953 |
| 70 °C sem desidratação osmótica | 16,19x10 ⁻¹² cosh (6,02M ^{*2}) | 8,87x10 ⁻⁸ | 1,093x10 ⁻³ | 0,99978 |
| 60 °C com desidratação osmótica | 24,52x10 ⁻¹² cosh (4,24M ^{*2}) | 9,20x10 ⁻⁸ | 1,736x10 ⁻³ | 0,99969 |
| 70 °C com desidratação osmótica | 27,03x10 ⁻¹² cosh (5,09M ^{*2}) | 12,0x10 ⁻⁸ | 7,682x10 ⁻⁴ | 0,99982 |

T: Temperatura; **D:** Difusividade efetiva de massa; **h:** Coeficiente de transferência convectiva de massa; **χ²:** Qui-quadrado; **R²:** Coeficiente de difusividade.

Fonte: Autoria própria (2021).

Uma análise dos resultados obtidos através dos parâmetros de **D** e **h**, permite a constatação de que o aumento dos respectivos valores acontece em consonância ao aumento da temperatura de secagem. Contudo, os valores da difusividade efetiva das amostras submetidas ao pré-tratamento de desidratação osmótica foram inferiores.

Resultado semelhante foi encontrado por Barros (2020), que ao comparar os valores obtidos para a difusividade efetiva de fatias de kiwis com pré-tratamento e sem pré-tratamento de desidratação osmótica, constatou que as amostras que não foram submetidas à solução osmótica apresentaram valores de D superiores.

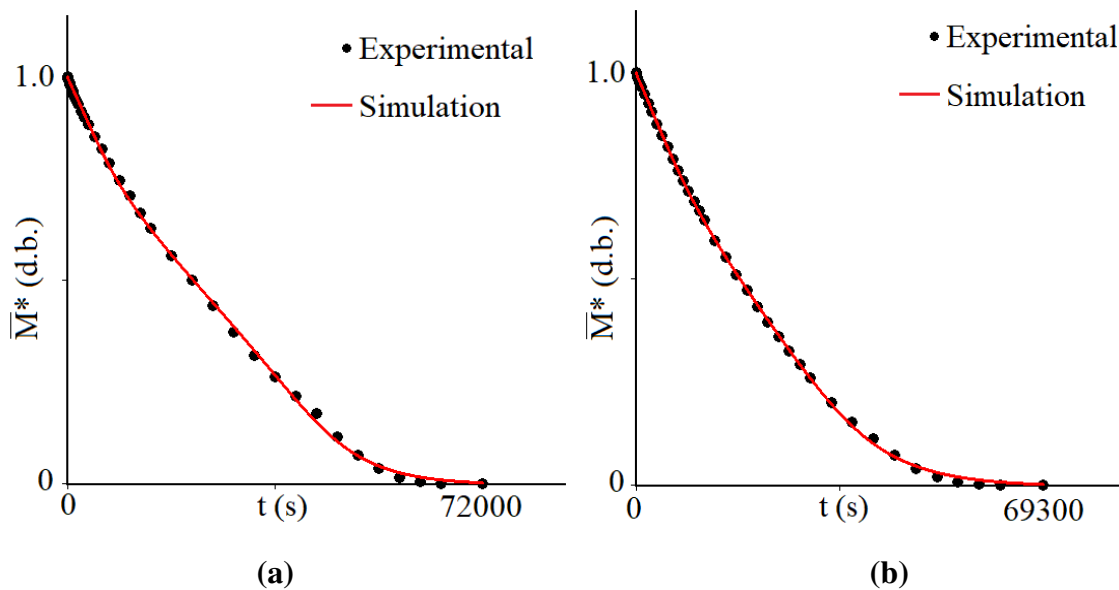
Em partes, tal resultado também é análogo ao obtido por Aires (2016), que ao realizar (através de quatro experimentos) o estudo da secagem convectiva a 40 e 60°C, de maçãs cortadas em formato de paralelepípedo, pré-desidratadas osmoticamente a 40 e 60°Brix para as duas temperaturas de secagem, identificou que os valores de D e h também aumentaram em

função da temperatura. Contudo, os valores de D para os experimentos com a maior concentração osmótica (60°Brix) foram menores, enquanto que os de h foram maiores. Assim, tendo em vista que no presente estudo foi utilizada apenas a concentração osmótica de 20°Brix, não foi possível verificar o comportamento de diferentes concentrações osmóticas sobre os resultados dos parâmetros avaliados.

De acordo com Braga (2016), que realizou estudos de desidratação osmótica de polpas de manga, a diminuição da difusividade efetiva em decorrência do aumento da concentração osmótica ocorre em consequência à saturação dos microcanais localizados no tecido vegetal do fruto, bem como, do fato de a velocidade da difusão da sacarose para o interior do fruto ser superior à da água.

Ao observar os resultados dos parâmetros de R^2 e χ^2 , percebe-se que o modelo proposto demonstrou eficácia para descrever os experimentos, já que todos os valores de R^2 foram acima de 0,999, ou seja, bastante próximos de 1, enquanto que, simultaneamente, os valores de χ^2 foram bem próximos de 0. Apesar disso, ao comparar os experimentos entre si, pode-se destacar que o de 70°C com desidratação osmótica foi descrito com maior eficácia, já que foram obtidos os resultados de 0,99982 para R^2 e $7,682 \times 10^{-4}$ para χ^2 .

Os gráficos dos ajustes do modelo proposto aos dados experimentais, por sua vez, podem ser visualizados na Figura 4.3.



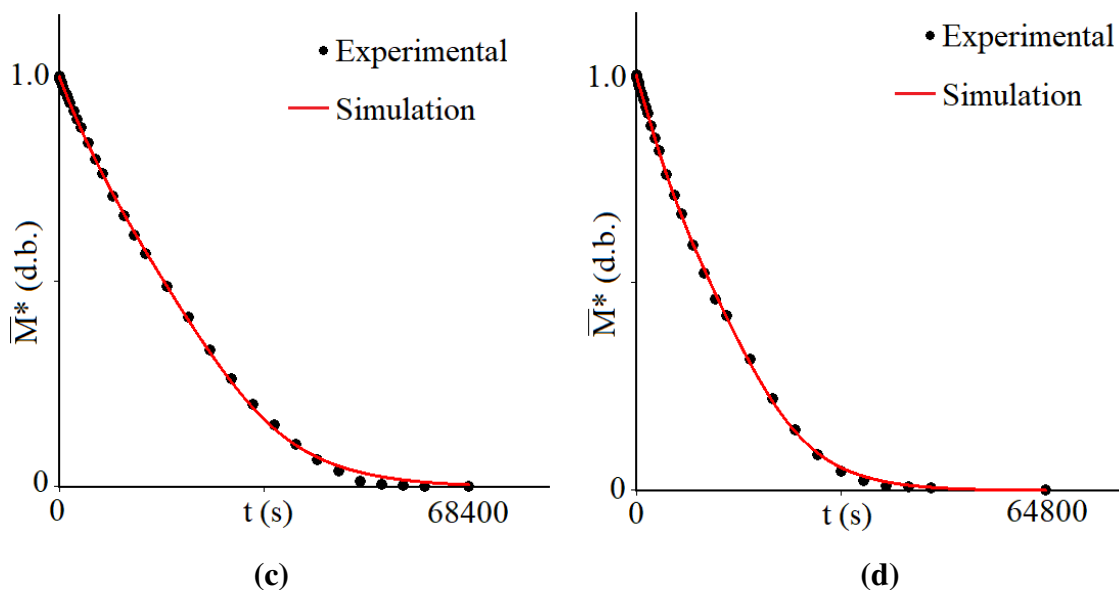


Figura 4.3 – Gráficos da cinética de secagem de cascas de melão através de solução numérica nas condições experimentais de: (a) 60 °C sem desidratação osmótica; (b) 70 °C sem desidratação osmótica; (c) 60 °C com desidratação osmótica; (d) 70 °C com desidratação osmótica.

Fonte: *Infinite Slab Numerical Software* (2020)

A Figura 4.3 corrobora com o que foi observado nos dados apresentados na Tabela 4.5, uma vez que mostra o bom ajuste do modelo proposto aos dados experimentais.

Ao comparar os resultados obtidos por meio da modelagem através do modelo de difusão com os dos modelos empíricos (Tópico 4.3), percebe-se que o modelo de difusão demonstrou melhor eficácia para descrever os experimentos, tendo em vista que foram fornecidos parâmetros estatísticos mais satisfatórios, bem como, curvas com melhores ajustes.

Já a comparação da simulação da cinética de secagem dos quatro experimentos pode ser visualizada na Figura 4.4.

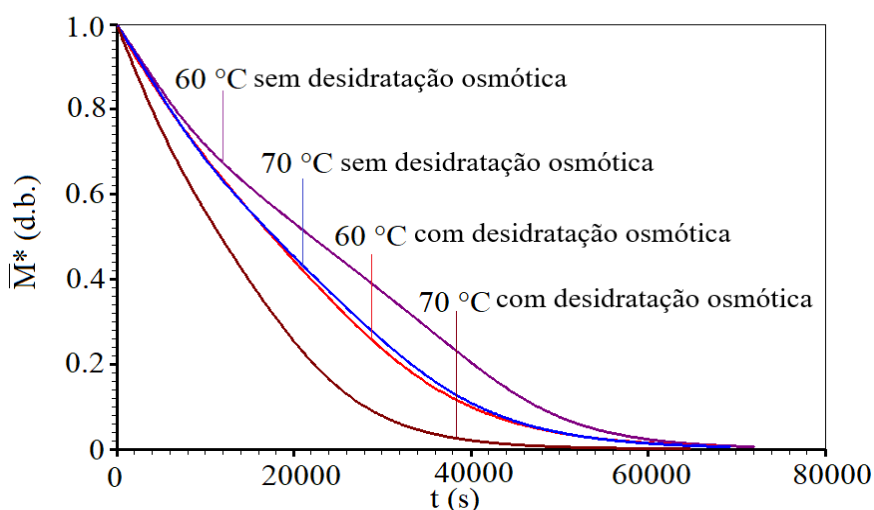


Figura 4.4 - Comparação da simulação da cinética de secagem dos quatro experimentos.
Fonte: *Infinite Slab Numerical* (2021)

Uma inspeção da Figura 4.3 e da Figura 4.4, torna-se possível a percepção de que para os experimentos realizados a 70°C foram requeridos tempos menores. Além disso, observa-se também que a desidratação osmótica reduziu o teor de umidade inicial das amostras e, dessa forma, influenciou no tempo total de secagem, já que foram requeridos tempos menores para as duas amostras submetidas ao pré-tratamento, para atingir o teor de umidade de equilíbrio.

4.5.1 Distribuição de umidade no interior do produto

Além da cinética de secagem, através do menu “*Simulation*” disponível no *software Infinity Slab Numerical*, foram gerados gráficos de contorno que mostram, através do código de cores, a distribuição da umidade no interior do produto ao simular as condições experimentais.

Na Figura 4.5 podem ser visualizados os gráficos de contorno para as cascas de melão submetidas à secagem a 60°C sem o pré-tratamento de desidratação osmótica, em quatro instantes distintos do processo de secagem (3600s, 9000s, 21600s, 32400s).

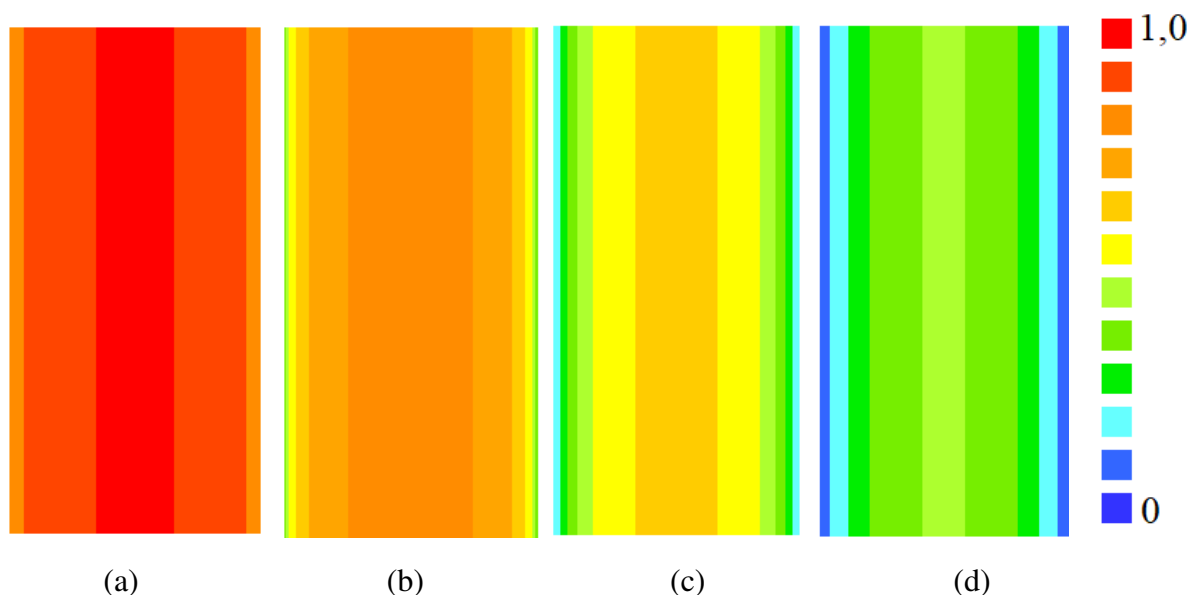


Figura 4.5 - Gráficos de contorno (sem escala), mostrando a distribuição de umidade dentro dos produtos para $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ sem desidratação osmótica para os instantes: (a) 3600s; (b) 9000s; (c) 21600s; (d) 32400s.

Ao analisar a Figura 4.5 é possível identificar que as extremidades do produto, por estarem em um contato maior com o ar de secagem, apresentam uma perda de umidade mais

rápida, em comparação à porção central. Ao observar o instante (d), percebe-se que nas extremidades do produto há um teor de umidade bastante reduzido, enquanto que a porção central se encaminha rumo ao mesmo teor.

Na Figura 4.6 estão expressos os resultados referentes ao experimento de 70°C sem o pré-tratamento de desidratação osmótica, para os instantes de 3465s, 9000s, 20790s, 27720s.

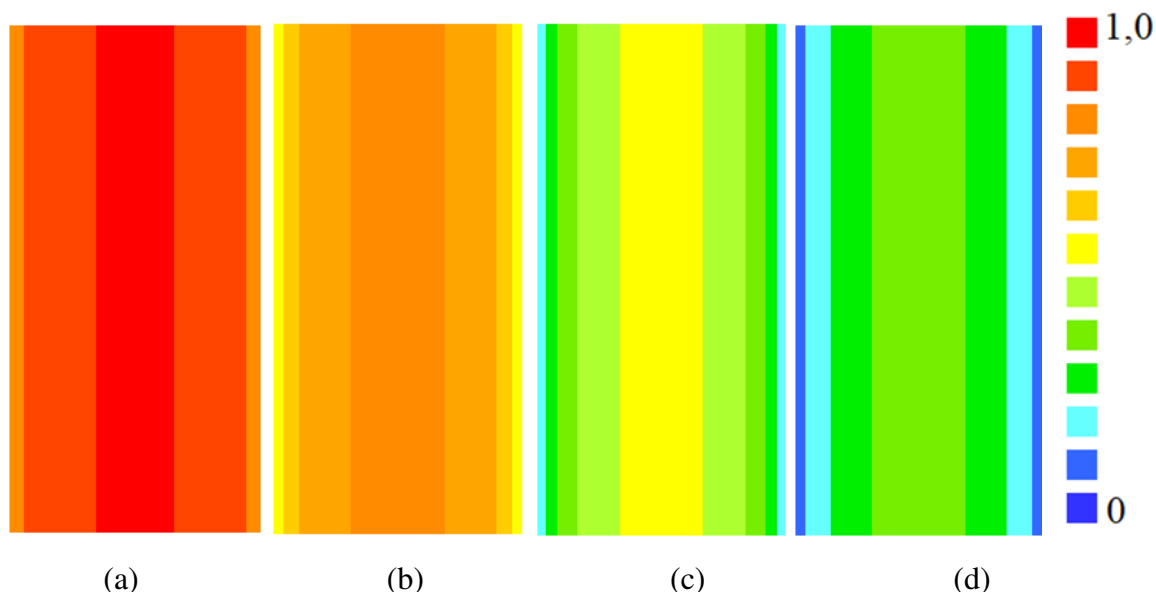


Figura 4.6 - Gráficos de contorno (sem escala), mostrando a distribuição de umidade dentro dos produtos para $T = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ sem desidratação osmótica para os instantes: (a) 3465 s; (b) 9000 s; (c) 20790 s; (d) 27720 s.

Ao fazer uma comparação entre a Figura 4.5 e a 4.6, é possível identificar que mesmo em tempos menores, a redução do teor de umidade para o experimento realizado a 70°C ocorreu de modo mais acelerado. Obviamente, tal resultado é consequência da maior temperatura do ar de secagem.

Já os gráficos de contorno referentes aos experimentos realizados para ambas as temperaturas sob o tratamento prévio de desidratação osmótica podem ser visualizados nas Figuras 4.7 e 4.8. A distribuição da umidade no interior do produto referente ao experimento de 60°C com o pré-tratamento de desidratação osmótica, foi avaliada nos instantes de 3420s, 8550s, 16420s, 23940s (Figura 4.7); enquanto que a do experimento de 70° com desidratação osmótica, foi avaliada nos intantes 3240s, 6480s, 10370s, 21060s (Figura 4.8).

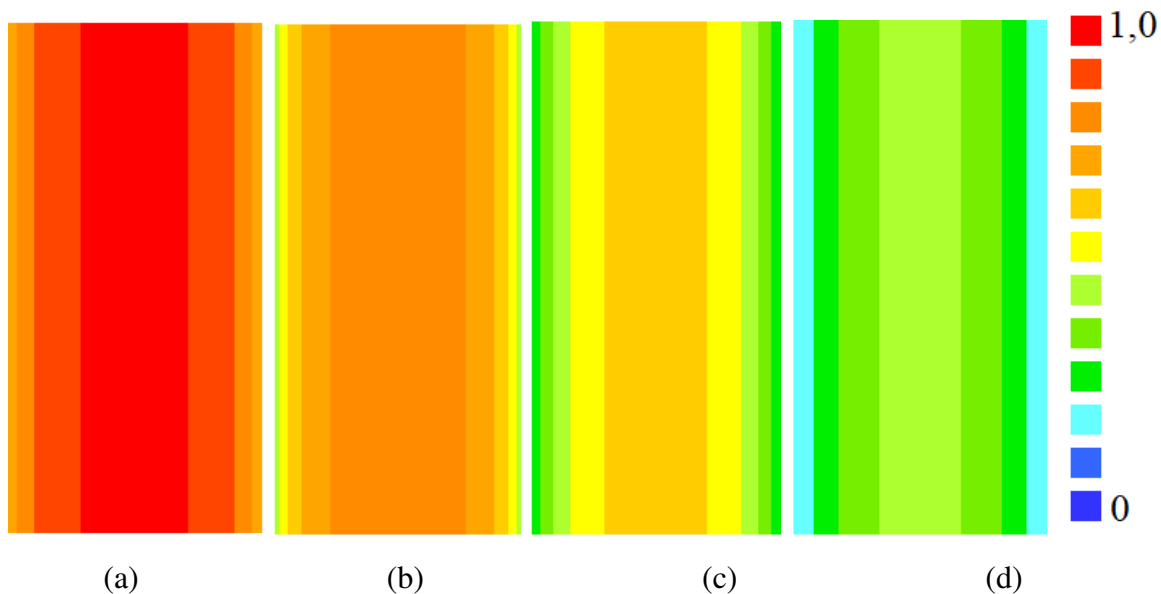


Figura 4.7 - Gráficos de contorno (sem escala), mostrando a distribuição de umidade dentro dos produtos para $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ com desidratação osmótica para os instantes: (a) 3420 s; (b) 8550 s; (c) 16420 s; (d) 23940 s.

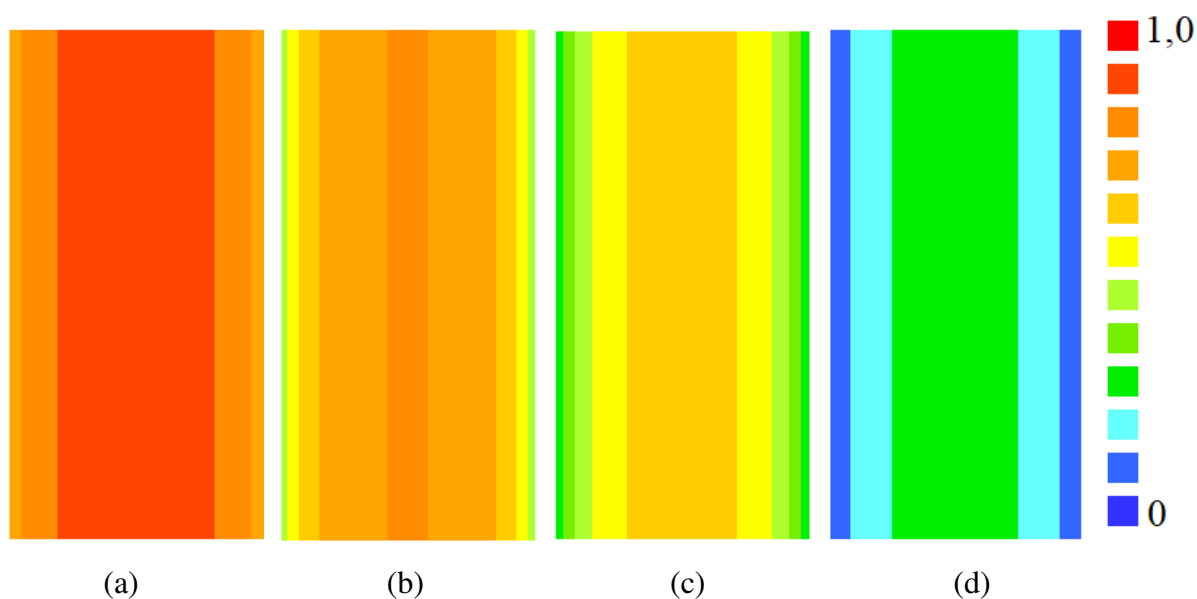


Figura 4.8 - Gráficos de contorno (sem escala), mostrando a distribuição de umidade dentro dos produtos para $T = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ com desidratação osmótica para os instantes: (a) 3240 s; (b) 6480 s; (c) 10370 s; (d) 21060 s.

Ao analisar as Figuras 4.7 e 4.8 e compará-las com as Figuras 4.5 e 4.6, sobretudo os instantes (a) e (b), é possível confirmar o que foi discutido no Tópico 4.4.1, ou seja, que as amostras submetidas ao pré-tratamento de desidratação osmótica apresentaram teor de umidade inicial reduzidos em comparação àquelas que não foram desidratadas.

Além disso, é possível identificar que a temperatura do ar de secagem impõe total influência sobre a velocidade da distribuição da umidade no interior do produto. Ou seja, ao se observar os instantes (a) e (d) das Figuras 4.7 e 4.8, torna-se perceptível que mesmo em tempos menores, o processo de distribuição de umidade para o experimento de 70°C com desidratação osmótica ocorreu de modo mais acelerado.

4.5 ELABORAÇÃO DAS FARINHAS DA CASCA DO MELÃO

As quatro formulações das farinhas da casca do melão amarelo podem ser visualizadas através da Figura 4.9.

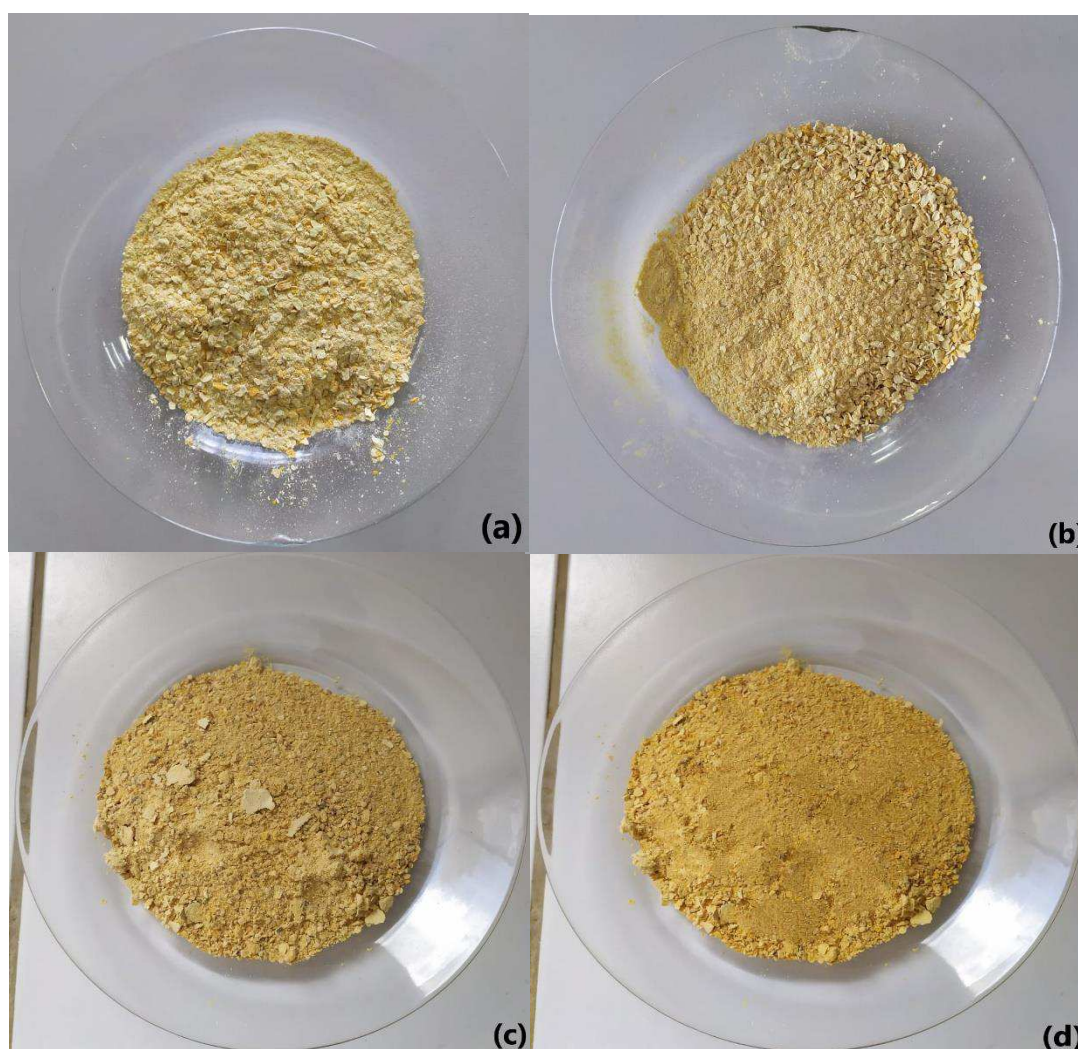


Figura 4.9 - (a) FCMSD 60°C; (b) FCMSD 70°C; (c) FCMCD 60°C; (d) FCMCD 70°C
Fonte: Autoria própria (2021)

Mediante análise da Figura 4.9, pode-se observar que a granulometria das farinhas submetidas ao pré-tratamento de desidratação osmótica apresentou um aspecto mais refinado em comparação às farinhas que não receberam o pré-tratamento.

Além disso, é possível identificar que a coloração das amostras desidratadas é levemente mais escurecida. Tal fato pode ser em consequência da impregnação da sacarose durante o procedimento de desidratação, bem como, pelo efeito da temperatura durante o processo de secagem, os quais, em associação, podem favorecer o escurecimento não enzimático (LIMA et al., 2004). No entanto, como a análise de cor não foi realizada, não foi possível identificar de modo preciso a influência da desidratação osmótica na coloração das amostras.

4.5.1 Caracterização físico-química das farinhas da casca do melão

Os resultados referentes às análises físico-químicas realizadas para as quatro formulações de farinhas da casca do melão estão explícitos na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Caracterização físico-química das farinhas da casca do melão

| ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS | | | | |
|--------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| AMOSTRAS | Umidade (%) | Cinzas | Aw | Lipídeo (%) |
| FCMSDO 60°C | 14,16±0,79 ^b | 8,96±0,12 ^b | 0,26±0,02 ^c | 2,05±0,20 ^a |
| FCMSDO 70°C | 10,13±0,49 ^c | 9,35±0,13 ^a | 0,20±0,00 ^d | 1,10±0,49 ^b |
| FCMCDO 60°C | 19,67±1,36 ^a | 5,14±0,04 ^d | 0,31±0,00 ^a | 1,16±0,23 ^b |
| FCMCDO 70°C | 21,33±1,65 ^a | 5,81±0,04 ^c | 0,29±0,00 ^b | 0,60±0,20 ^b |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Autoria própria (2021)

Ao observar os resultados obtidos através da análise de umidade, torna-se perceptível que apenas as amostras que foram submetidas ao pré-tratamento de desidratação osmótica não apresentaram diferença estatística entre si. Além disso, ambas demonstraram os maiores teores de umidade, sendo, inclusive, percentuais acima de 15%, resultado que faz com que essas duas amostras não correspondam aos requisitos de umidade para farinhas, preconizados pela RDC nº 203/2005 (BRASIL, 2005). Contudo, considerando a resolução aludida, os valores das formulações FCMSDO 60°C e FCMSDO 70°C são adequados, já que foram abaixo de 15%.

De acordo com Kroehnke et al. (2021), o fato de as farinhas pré-desidratadas osmoticamente terem apresentado um teor de umidade mais elevado pode ser justificado pela

capacidade que a sacarose possui de se depositar na superfície do produto, causando um revestimento semelhante à uma crosta, a qual pode dificultar bastante o transporte de umidade.

Para avaliar a eficácia da secagem convectiva na redução da umidade dos produtos, certamente, faz-se necessário realizar uma comparação do teor de umidade do produto seco com o do produto *in natura*. Todavia, no presente estudo não foi realizada a caracterização físico-química da casca do melão *in natura*, portanto, foi utilizado como base o estudo de Moraes et al. (2017), no qual foi obtido como valor do teor de umidade da casca do melão o percentual de 92,1%, enquanto que neste foram obtidos valores que variaram de 10,13% a 21,33% para as farinhas. Tal comparação exprime a validade da secagem na redução do teor de umidade da casca do melão e na elaboração de produtos com qualidade.

Quanto à análise de cinzas, é possível verificar que nenhuma das amostras apresentou semelhança estatística, e que os maiores teores foram obtidos nas formulações que não foram desidratadas osmoticamente, ou seja, FCMSDO 70°C e FCMSDO 60°C ($9,35 \pm 0,13$ e $8,96 \pm 0,12$ respectivamente). Resultado aproximado foi encontrado no estudo de Madeira (2017), no qual foi atingido um valor de cinzas de $8,66 \pm 0,08$ para a farinha da casca do melão amarelo.

De acordo com a Instrução Normativa 8/2005 que dispõe sobre o regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo, o teor máximo de cinzas para esta farinha deve ser de 2,5% para ser considerada integral (BRASIL, 2005). Porém, como ainda não há uma resolução que discorra sobre farinhas de resíduos de frutas, tal recomendação não deve ser totalmente considerada, uma vez que trata-se de uma matéria-prima distinta.

No que concerne à análise da atividade de água, mais uma vez, todas as amostras diferiram estatisticamente entre si, entretanto, assim como na análise do teor de umidade, os maiores resultados foram obtidos para as amostras que foram desidratadas osmoticamente, ou seja, FCMCDO 60°C e FCMCDO 70°C ($0,31 \pm$ e $0,29 \pm$, respectivamente). Ademais, ao fazer uma comparação isolada entre os valores das farinhas das cascas que não foram pré-desidratadas (FCMSDO 60°C e FCMSDO 70°C), e entre as que foram pré-desidratadas (FCMCDO 60°C e FCMCDO 70°C), pode-se perceber que o acréscimo da temperatura favoreceu a obtenção de menores teores de Aw.

No entanto, no geral, todas as farinhas apresentaram teores de Aw $< 0,6$, fato que, de acordo com Troller e Christian (1978), atribui ao produto a característica de estabilidade microbiológica, uma vez que a atividade de água é um fator determinante para o desenvolvimento de micro-organismos, e a maioria deles não consegue se desenvolver em condições de Aw $< 0,6$. Portanto, com base no resultado desta análise, as farinhas desenvolvidas

no presente estudo provavelmente apresentam um bom prazo de validade, tendo em vista que a atividade de água é um parâmetro crítico de qualidade dos produtos (GIBBS; GEKAS, 1998).

Enfim, ao que diz respeito à análise de lipídeos, como esperado, foram obtidos valores baixos, dentre os quais, apenas a formulação FCMSDO 60°C apresentou diferença estatística, enquanto que as demais formulações apresentaram similaridade entre si. Ao realizar uma inspeção dos valores, é possível perceber que o aumento da temperatura implicou em percentuais mais baixos de lipídeos totais. Os valores obtidos foram ainda mais discretos que o valor obtido por Madeira (2017), o qual foi de $3,63 \pm 1,23$. Assim, tais resultados sugerem que as formulações de farinhas da casca do melão representam uma alternativa interessante para ser utilizada no enriquecimento de produtos alimentícios sem que haja a elevação considerável do teor lipídico.

5 CONCLUSÃO

- O procedimento de desidratação osmótica proporcionou o aumento do ganho de sólidos ao produto, bem como, a redução do teor de umidade inicial, a redução inicial da espessura, e o aumento do teor de umidade de equilíbrio. Além disso, o pré-tratamento foi capaz de reduzir o tempo total de secagem;
- A redução do teor de umidade de equilíbrio foi consonante ao aumento da temperatura do ar de secagem;
- Quanto aos modelos empíricos utilizados, apesar de o modelo de Wang e Singh ter demonstrado os melhores valores de R^2 e χ^2 para ambos os experimentos realizados a 60°C, não pôde ser considerado, uma vez que foram preditos valores negativos para o teor de umidade. Portanto, Page foi eleito o modelo que descreveu de forma mais satisfatória os dados experimentais;
- A redução do valor da espessura aconteceu mediante à redução do valor do teor de umidade;
- Quanto à utilização do modelo de difusão através de solução numérica e condição de contorno convectiva, foi verificado que o aumento dos valores de difusividade efetiva de massa e do coeficiente de transferência convectiva de massa foram proporcionais ao acréscimo da temperatura do ar de secagem. Todavia, os valores da difusividade efetiva de massa das amostras desidratadas osmoticamente foram inferiores aos das amostras não desidratadas.

- Os valores de R^2 e χ^2 obtidos através do modelo de difusão foram bastante satisfatórios, sobretudo os valores referentes ao experimento de 70°C com desidratação osmótica, além disso, os ajustes das curvas aos dados experimentais também apresentaram boa adequação;
- Ao comparar os valores de R^2 e χ^2 , bem como, os ajustes das curvas dos modelos empíricos ao difusivo, pode-se considerar que o modelo difusivo demonstrou melhor eficácia ao descrever a secagem das cascas do melão para as quatro condições experimentais;
- No que concerne à distribuição de umidade no interior do produto, percebeu-se que as extremidades da casca do melão secaram de forma mais acelerada que a porção central, e que a temperatura do ar de secagem impôs total influência sobre a velocidade da distribuição;
- Quanto à elaboração das quatro formulações de farinhas da casca do melão, aquelas referentes as cascas que foram pré-desidratadas apresentaram granulometria mais refinada e coloração levemente mais escura;
- Com relação à caracterização físico-química das farinhas obtidas, a análise da umidade demonstrou que as amostras que passaram pelo pré-tratamento de desidratação osmótica apresentaram teores maiores que 15%, o que não é interessante para esse tipo de produto, em contrapartida, as amostras que não foram desidratadas osmoticamente apresentaram teores menores que 15%, sendo, portanto, adequadas. Quanto à análise de cinzas, as amostras que não foram pré-desidratadas apresentaram os maiores teores, logo, estas formulações concentram maior resíduo mineral. Já na análise de atividade de água, as amostras que passaram pela desidratação osmótica exibiram os maiores teores, no entanto, as quatro formulações expuseram valores bastante adequados, já que foram menores que 0,6%. Quanto à análise de lipídeo, como esperado, foram obtidos valores baixos, deste modo, acredita-se que as farinhas da casca do melão podem ser utilizadas no enriquecimento de produtos alimentícios sem que haja grande acréscimo calórico.
- Embora algumas amostras não tenham apresentado conformidade para determinadas análises, no geral, acredita-se que a farinha da casca do melão representa uma matéria-prima com potencial de mercado por ser nutritiva e acessível, portanto, sua utilização no enriquecimento de produtos alimentícios parece ser uma boa estratégia para atrair consumidores que buscam opções saudáveis e palatáveis, com preço justo. No entanto,

faz-se necessária a caracterização físico-química e microbiológica completa destas farinhas, a fim de avaliar o máximo de parâmetros de qualidade; bem como, a realização posterior de análises sensoriais e teste de intenção de compra dos produtos enriquecidos, para avaliar a opinião de possíveis consumidores/compradores.

- No geral, é importante salientar que faz-se necessária a execução de mais testes de secagens com diferentes temperaturas, a fim de obter a melhor eficácia do método e de propor produtos mais seguros e de qualidade.

REFERÊNCIAS

AGBEDE, O. O.; OKE, E. O.; AKINFENWA, S. I.; WAHAB, K. T.; OGUNDIPE, S.; AWORANTI, O. A.; BABATUNDE, K. A. Thin layer drying of green microalgae (*Chlorella* sp.) paste biomass: Drying characteristics, energy requirement and mathematical modeling. **Bioresource Technology Reports**, p. 100467, 2020.

AHMED, I.; QAZI, I. M.; JAMAL, S. Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 34, p. 29-43, 2016.

AIRES, K. L. C. de A. F. **Desidratação osmótica e secagem convectiva de maçã cortada em forma de paralelepípedo descritas por solução numérica tridimensional da equação de difusão**. 2016. 237 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2016.

AKPINAR, E. K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin-layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**, v. 59, p. 99-104, 2006.

ALEXANDRE, H. V.; DA SILVA, F. L.; GOMES, J. P.; SILVA, O. S. D.; CARVALHO, J. P.; LIMA, E. E. D. Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 640-646, 2013.

ALONSO, L. F. T. **Desenvolvimento de um aplicativo para o projeto de secadores industriais**. Exame de qualificação para doutorado em Engenharia Agrícola- FEAGRIUNICAMP. Campinas, p. 49, 1998.

AL-SAYED, H. M.; AHMED, A. R. Utilization of watermelon rinds and sharlyn melon peels as a natural source of dietary fiber and antioxidants in cake. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 58, n. 1, p. 83-95, 2013.

ALVES, R. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. DE; SILVA, W. P.; GOMES, J. P. Solar drying of cowpea bean combined with drying in a heat accumulator dryer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.9, p.709–715, 2019.

ALVES, R. E. (Org). *Melão: pós-colheita*. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical; Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 43 p. (Frutas do Brasil, 10), 2000.

ARAGÃO, C. A. Qualidade de mudas de melão produzidas em diferentes substratos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 3, p. 209-214, 2011.

ASSIS, F. R.; MORAIS, R. M. S. C.; MORAIS, A. M. M B. Mass transfer in osmotic dehydration of food products: comparison between mathematical models. **Food engineering reviews**, v. 8, n. 2, p. 116-133, 2016.

ATEF, A. M.; ABOU-ZAID, N.; IBRAHIM, I.; RAMADAN, M.; NADIR, A. Quality evaluation of sheets, jam and juice from prickly pear and melon blends. **Life Science Journal**, v. 10, n. 2, 2013.

AYALA-ZAVALA, J.; VEGA-VEGA, V.; ROSAS-DOMÍNGUEZ, C.; PALAFOX-CARLOS, H.; VILLA-RODRIGUEZ, J. A.; SIDDIQUI, M. W.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 1866-1874, 2011.

BARROS, S. L. **Modelagem e simulação do processo de secagem convectiva de fatias de kiwi pré-tratadas osmoticamente utilizando geometria de parede infinita**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2020.

BARROS, S. L.; SANTOS, N. C.; MELO, MYLENA OLGA PESSOA; NASCIMENTO, A. P. S.; GOMES, J. P. Cinética e modelagem matemática da secagem de cascas de melão. In: **IV Congresso internacional das ciências agrárias, 2019, Recife. Democratização do conhecimento e valorização profissional: caminhos para o desenvolvimento tecnológico e social.**, 2019.

BASSANEZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia**. São Paulo: Contexto, 2002, 389p.

BECK, J. V; COLE, K. D.; HAJI-SHEIKH, A.; LITKOUHI, B. **Heat conduction using green's functions**. New York: Hemisphere Publishing Corporation. Chapter ten: Galerkinbased green's functions and solutions, p. 293-335, 1992.

BEEDIE, M. Energy saving: a question of quality? **Dairy industries international**, v. 60, n. 12, p. 27-29, 1995.

BIDKAR, J. S.; GHANWAT, D. D.; BHUJBAL, M. D.; DAMA, G. Y. Anti-hyperlipidemic activity of Cucumis melo fruit peel extracts in high cholesterol diet induced hyperlipidemia in rats. **Journal of Complementary and Integrative Medicine**, v. 9, n. 1, 2012.

BORGES, F. B. **Descrição da secagem convectiva de grãos de milho através de modelos difusivos**. 2016. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Processos) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

BRAGA, T. R. **Efeito de pré-tratamentos: desidratação osmótica assistida com ultrassom e luz ultravioleta pulsada na secagem e qualidade da manga**. 2016. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, CE, Brasil.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa n. 8, de 2 de junho de 2005. **Regulamento técnico de identidade e qualidade da farinha de trigo**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 27 jun. 2005. Disponível em:
<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=803790937> Acesso em: 21 mar. 2021.

BRASIL. Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005: Aprova o " Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos". **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, v. 142, n. 184, 2005. Disponível em:
https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0263_22_09_2005.html. Acesso em: 21 mar. 2021.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. Drying and storage of grains and oilseeds. New York: The AVI Publishing Company, 450 p. 1992.

BURGER, Y.; PARIS, H. S.; COHEN, R.; KATZIR, N.; TADMOR, Y.; LEWINSOHN, E.; SCHAFFER, A. A. 3 Genetic Diversity of Cucumis Melo. **Horticultural reviews**, v. 36, n. 1, p. 156-198, 2010.

CARMO, J. E. F. **Fenômenos de difusão transiente em sólidos esferoidais oblatos. Estudo de caso: secagem de lentilhas**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.

CASTRO, S. D.; SILVA, W. P.; GOMES, J. P.; AIRES, J. E. F.; AIRES, K. L. C. A. F.; J, A. F. S. Development and sensory evaluation of osmotically dehydrated guava. **Brazilian Journal Food Technology**, v.21, p.201-213, 2018.

CAVARIANI, C. **Secagem estacionária de sementes de milho com distribuição radial do fluxo de ar**. 1996. 85f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Esalq-USP.

CHWASTEK, A. Methods to increase the rate of mass transfer during osmotic dehydration of foods. **Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**, v. 13, n. 4, p. 341-350, 2014.

- CICHOWSKA, J.; ŻUBERNIK, J.; CZYŻEWSKI, J.; KOWALSKA, H.; WITROWA-RAJCHERT, D. Efficiency of osmotic dehydration of apples in polyols solutions. **Molecules**, v. 23, n. 2, p. 446, 2018.
- CORRÊA, J. L. G.; RASIA, M. C.; MULET, A.; CÁRCEL, J. A. Influence of ultrasound application on both the osmotic pretreatment and subsequent convective drying of pineapple (*Ananas comosus*). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v.41, p.284–291, 2017.
- CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; GONELI, A. L. D.; 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, A. R. S. **Sistema de secagem solar para frutos tropicais e modelagem da secagem de banana em um secador de coluna estática**. 2008. Natal-RN: Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 169 p., Tese (doutorado).
- COSTA, N. D. (Ed.). **Sistema de produção de melão**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.
- CRANK, J. **The Mathematics of Diffusion**, Oxford Science Publications, New York. 1992.
- CRISÓSTOMO, J. R. **Melão: agricultura familiar na Chapada do Apodi**, Ceará. 2004.
- DANTAS, L. A.; MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M. Programa Computacional Dinâmico para Simulação de Secagem de Grãos e Sementes de Milho. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.13, n.3, p.309-318, 2011.
- CRIZEL, T. D.; JABLONSKI, A.; OLIVEIRA, RIOS. A.; RECH, R.; FLÔRES, S. H. Dietary fiber from orange byproducts as a potential fat replacer. **LWT-Food Science and Technology**, v. 53, n. 1, p. 9-14, 2013.
- DARYONO, B. S.; MARYANTO, S. D.; NISSA, S.; ARISTYA, G. R. Analisis kandungan vitamin pada melon (*Cucumis melo* L.) kultivar melodi gama 1 dan melon komersial. **Biogenesis: Jurnal Ilmiah Biologi**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2016.
- DENG, G. F.; SHEN, C.; XU, X. R.; KUANG, R. D.; GUO, Y. J.; ZENG, L. S.; LI, S. Potential of fruit wastes as natural resources of bioactive compounds. **International journal of molecular sciences**, v. 13, n. 7, p. 8308-8323, 2012.
- DIAMANTE, L. M.; IHNS, R.; SAVAGE, G. P.; VANHANEN, L. A new mathematical model for thin layer drying of fruits. **International journal of food science & technology**, v. 45, n. 9, p. 1956-1962, 2010.
- DIXIT, Y.; KAR, A. Protective role of three vegetable peels in alloxan induced diabetes mellitus in male mice. **Plant foods for human nutrition**, v. 65, n. 3, p. 284-289, 2010.
- DOYMAZ, I. Drying of Pomegranate Arils and Selection of a Suitable Drying Model. **Food Biophysics**, v. 6, n. 4, 2011.

EMAM-DJOMEH, Z.; DEHGHANNYA, J.; SOTUDEH GHARABAGH, R. Assessment of osmotic process in combination with coating on effective diffusivities during drying of apple slices. **Drying Technology**, v. 24, n. 9, p. 1159-1164, 2006.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Coleção plantar: a cultura do melão**. 3ª edição, Brasília, 2017.

ESTEVINHO, B. N.; ROCHA, F.; SANTOS, L.; ALVES, A. Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications—A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 31, n. 2, p. 138-155, 2013.

EZZAT, S. M.; RASLAN, M.; SALAMA, M. M.; MENZE, E. T.; EL HAWARY, S. S. In vivo anti-inflammatory activity and UPLC-MS/MS profiling of the peels and pulps of Cucumis melo var. cantalupensis and Cucumis melo var. reticulatus. **Journal of ethnopharmacology**, v. 237, p. 245-254, 2019.

FAO – Food Agriculture Organization. Perdas e desperdícios de alimentos na América Latina e no Caribe. **Escritório Regional da FAO para a América Latina e o Caribe**, 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/239394/>. Acesso em: 15 mai. 2020.

FARIAS, V. S. O.; ARAUJO, L. F.; SILVA, W. P.; FRANCO, C. M. R.; ROCHA, P. I. O.; JUNIOR, A. F. S. Drying study of ceramic tiles using three-dimensional analytical solution of the diffusion equation. **JP J. of Heat and Mass Transfer**, v. 15, n. 2, p. 409-432, 2018.

FELLOWS, P. J. Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Prática. 2ª edição, Artmed. **Porto Alegre**, p. 602, 2006.

FIGUEIREDO, R. Introdução. In: FIGUEIREDO, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. Editora Universitária: João Pessoa, 2004b. p. 33-34.

FOLCH, J.; LEES, M.; STANLEY, G.H S. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. **Journal of biological chemistry**, v. 226, n. 1, p. 497-509, 1957.

FOUST, A.S.; WENZEL, L.A.; CLUMP, C.W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L.B. **Princípios das operações unitárias**. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 670p. 1982.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. Microrganismos patogênicos de importância em alimentos. **Microbiologia dos alimentos**, 1996.

FRANCO, C. M. R., **Modelagem, simulação e experimentação da secagem contínua e intermitente de sólidos elipsoidais. Estudo de caso: Secagem de grãos de arroz em casca**, Campina Grande: Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, 2016. 261 p. Tese (Doutorado).

FUNDO, J. F.; MILLER, F. A.; GARCIA, E.; SANTOS, J. R.; SILVA, C. L.; BRANDÃO, T. R. Physicochemical characteristics, bioactive compounds and antioxidant activity in juice, pulp, peel and seeds of Cantaloupe melon. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 12, n. 1, p. 292-300, 2018.

GARCIA, D. C., BARROS, A. C. S. A., PESKE, S. T., MENEZES, N. L. D. A secagem de sementes. **Ciência Rural**, v. 34, n. 2, p. 603-608, 2004.

GÓMEZ-GARCÍA, R.; CAMPOS, D. A.; AGUILAR, C. N.; MADUREIRA, A. R.; PINTADO, M. Valorization of melon fruit (*Cucumis melo* L.) by-products: Phytochemical and Biofunctional properties with Emphasis on Recent Trends and Advances. **Trends in Food Science & Technology**, 2020.

GIBBS, P.; GEKAS, V. **Water activity and microbiological aspects of foods**. A knowledge base. Leatherhead Food Research Association, Leatherhead, 1998.

GONDIM, J. A. M.; Moura, M. D. F. V.; Dantas, A. S.; Medeiros, R. L. S.; Santos, K. M. Centesimal composition and minerals in peels of fruits. **Food Science and Technology**, v. 25, n. 4, p. 825-827, 2005.

HOUGEN, O. A.; MCCAULEY, H. J.; MARSHALL, W. R. Limitations of diffusion equations in drying. **Trans AIChE**, v. 36, n. 2, p. 183-206, 1940.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. 4ª Ed., 1ª Ed. Digital, São Paulo, 2008.

ISMAIL, H. I.; CHAN, K. W.; MARIOD, A. A.; ISMAIL, M. Phenolic content and antioxidant activity of cantaloupe (*Cucumis melo*) methanolic extracts. **Food Chemistry**, v. 119, n. 2, p. 643-647, 2010.

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.

KARATHANOS, V. T.; KOSTAROPOULOS, A. E.; SARAVACOS, G. D. Air-drying kinetics of osmotically dehydrated fruits. **Drying technology**, v. 13, n. 5-7, p. 1503-1521, 1995.

KARCHI, Zvi. Development of melon culture and breeding in Israel. In: **VII Eucarpia Meeting on Cucurbit Genetics and Breeding 510**. p. 13-18, 2000.

KEEY, R. B. Moisture: solid relationships. **Drying principle and practices**. Oxford, p. 19-49, 1972.

KROEHNKE, J.; SZADZIŃSKA, J.; RADZIEJEWSKA-KUBZDELA, E.; BIEGAŃSKA-MARECIK, R.; MUSIELAK, G. Ultrasound-and microwave-assisted convective drying of carrots–Process kinetics and product’s quality analysis. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 48, p. 249-258, 2018.

KROEHNKE, J.; SZADZIŃSKA, J.; RADZIEJEWSKA-KUBZDELA, E.; BIEGAŃSKA-MARECIK, R.; MUSIELAK, G.; MIERZWA, D. Osmotic dehydration and convective drying of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*)–The influence of ultrasound on process kinetics and product quality. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 71, p. 105377, 2021.

KROKIDA, M. K.; KARATHANOS, V. T.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Drying kinetics of some vegetables. **Journal of Food engineering**, v. 59, n. 4, p. 391-403, 2003.

SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S. **Labfit curve fitting software**, V.7.2.48 (2011); online, disponível em: www.labfit.net. Acesso em set. 2019.

LECH, K.; MICHALSKA, A.; WOJDYŁO, A.; NOWICKA, P.; FIGIEL, A. The influence of the osmotic dehydration process on physicochemical properties of osmotic solution. **Molecules**, v. 22, n. 12, p. 2246, 2017.

LEITE, J. C. A.; DE SOUSA, R. F.; SILVA, A. S. A.; GOUVEIA, J. P.; SILVA, M. M.; SOUSA, A. G. Simulação de secagem de milho (*Zea mays* L.) utilizando o modelo matemático de Thompsom. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n. 2, 2005.

LENART, A.; LEWICKI, P. **Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables**. In Handbook of. Industrial Drying, 3rd ed.; CRC Press: London, UK, pp. 661–680, 2006.

LIMA, A. G. B. **Fenômeno de difusão em sólidos esferoidais prolatos. Estudo de caso: secagem de banana**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1999.

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.; 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. D. S.; FIGUEIREDO, R. W. D.; MAIA, G. A.; LIMA, J. R.; SOUSA, P. H. M. D. Estudo da estabilidade de melões desidratados obtidos por desidratação osmótica seguida de secagem convencional. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 1, p. 107-109, 2004.

LIMA, R. M. P. **Desidratação Osmótica de Melão (*Cucumis melo* L.) em Soluções de Sacarose e de Sorbitol**. 2012. Tese de Doutorado (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2012.

LUIKOV, A. V. **Analytical heat diffusion theory**. Academic Press, New York and London, 684 p. 1968.

LÓPEZ-MARCOS, M. C.; BAILINA, C.; VIUDA-MARTOS, M.; PÉREZ-ALVAREZ, J. A.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. Properties of dietary fibers from agroindustrial coproducts as source for fiber-enriched foods. **Food and bioprocess technology**, v. 8, n. 12, p. 2400-2408, 2015.

MACHADO, P. G. **Cultivo do melão: manejo, colheita, pós-colheita e comercialização**. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural – SENAR, 2007, Brasília, 104p.

MACHADO, A. V. **Estudo da secagem do pedúnculo do caju em sistemas convencional e solar: modelagem e simulação do processo**. 2009. 143f. 2009. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Engenharia Química)–Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

MALACRIDA, C. R.; ANGELO, P. M.; ANDREO, D.; JORGE, N. Composição química e potencial antioxidante de extratos de sementes de melão amarelo em óleo de soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 4, p. 372-376, 2007.

MALISKA, C. R. **Transferência de calor e mecânica dos fluidos computacional**. Rio de Janeiro: LTC Editora S.A., 2004. 453 p.

MADEIRA, P. M. R. **Agregação de valor ao resíduo de melão: caracterização, avaliação de atividade antioxidante, antiproliferativa, potencial prebiótico e produção de enzimas**. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Biotecnologia. Natal, RN, 2017.

MALLEK-AYADI, S.; BAHLOUL, N.; KECHAOU, N. Characterization, phenolic compounds and functional properties of Cucumis melo L. peels. **Food chemistry**, v. 221, p. 1691-1697, 2017.

MARYANTO, S. D.; DARYONO, B. S. The Comparison of Melon (Cucumis melo L.) Phenotypic Characters among Melodi Gama 1, Gama Melon Basket, and Commercial Cultivars Using Multilocation and Multiseason Test. In: **Proceeding at Pasific Science Congress, Kuala Lumpur, Malaysia**. 2011.

MCCREIGHT, J. D.; NERSON, H.; GRUMET, R. Melon: Cucumis melo L. In: **Genetic improvement of vegetable crops**. New York: Pergamon, p. 267-294, 1993.

MEDEIROS, R. A.; DE OLIVEIRA FARIAS, V. S.; DE OLIVEIRA, T. M. Q.; DA SILVA JUNIOR, A. F.; LIMA, A. R. N.; PEREIRA, M. T. L.; DE ATAIDE, J. S. P. Comportamento da secagem de sementes de melão (Cucumis Melo L.) em camada fina usando modelos empíricos. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 64001-64009, 2020.

MERCALI, G. D.; TESSARO, I. C.; NOREÑA, C. P.; MARCZAK, L. D. Mass transfer kinetics during osmotic dehydration of bananas (Musa sapientum, shum.). **International journal of food science & technology**, v. 45, n. 11, p. 2281-2289, 2010.

MEZULE, L.; DALECKA, B.; JUHNA, T. Fermentable sugar production from lignocellulosic waste. **Chemical Engineering Transactions**, v. 43, p. 619-624, 2015.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A new model for single-layer drying. **Drying technology**, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002.

MIGUEL, A. C. A.; ALBERTINI, S.; BEGIATO, G. F.; DIAS, J. R. P. S.; SPOTO, M. H. F. Aproveitamento agroindustrial de resíduos sólidos provenientes do melão minimamente processado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 733-737, 2008.

MORAIS, D. R.; ROTTA, E. M.; SARGI, S. C.; BONAFE, E. G.; SUZUKI, R. M.; SOUZA, N. E.; Visentainer, J. V. Proximate composition, mineral contents and fatty acid composition of the different parts and dried peels of tropical fruits cultivated in Brazil. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 28, n. 2, p. 308-318, 2017.

- NIETO, A. B.; VICENTE, S.; HODARA, K.; CASTRO, M. A.; ALZAMORA, S. M. Osmotic dehydration of apple: Influence of sugar and water activity on tissue structure, rheological properties and water mobility. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 1, p. 104-114, 2013.
- NUNES, A. C. N.; RESENDE, S. S. Guia Técnico Ambiental da Indústria de Cerâmica Vermelha. **Belo Horizonte: Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG) e Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM)**, 2013.
- ORDÓÑEZ, J. A. et al. Componentes dos alimentos e processos In:_____. **Tecnologia de alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2005, pag.221-222.
- PANCHARIYA, P. C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A. L. Thin-layer modelling of black tea drying process. **Journal of food engineering**, v. 52, n. 4, p. 349-357, 2002.
- PANDA, S. K.; RAY, R. C. Microbial processing for valorization of horticultural wastes. In: **Environmental microbial biotechnology**. Springer, Cham, 2015. p. 203-221.
- PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. D.; PARK, K. J. B. **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. Campinas: Unicamp, 2007.
- PARK, K. J.; VOHNIKOVA, Z.; BROD, F. P. R. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). **Journal of Food Engineering**, v. 51, n. 3, p. 193-199, 2002.
- PARLE, M.; SINGH, K. Musk melon is eat-must melon. **International research journal of pharmacy**, v. 2, p. 52-57, 2011.
- PARMAR, H. S.; KAR, A. Protective role of *Mangifera indica*, *Cucumis melo* and *Citrullus vulgaris* peel extracts in chemically induced hypothyroidism. **Chemico-biological interactions**, v. 177, n. 3, p. 254-258, 2009.
- PATANKAR, S. V. **Numerical heat transfer and fluid flow**. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1980. 193 p.
- PATEL, S. N.; SHARMA, M.; LATA, K.; SINGH, U.; KUMAR, V.; SANGWAN, R. S.; SINGH, S. P. Improved operational stability of d-psicose 3-epimerase by a novel protein engineering strategy, and d-psicose production from fruit and vegetable residues. **Bioresource technology**, v. 216, p. 121-127, 2016.
- PEDROSA, J. F.; DE FARIA, C. M. B. Cultura do melao. Embrapa Semiárido-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E), 1995.
- PENHA, T. A. M.; ALVES, H. C. O desempenho das exportações do melão potiguar e cearense: uma análise de constant market share. **Revista de Estudos Sociais**, v. 20, n. 41, p. 233-256, 2018.
- PETKOWICZ, C. L. O.; VRIESMANN, L. C.; WILLIAMS, P. A. Pectins from food waste: Extraction, characterization and properties of watermelon rind pectin. **Food Hydrocolloids**, v. 65, p. 57-67, 2017.

QUEIROGA, F.; COSTA, S.; PEREIRA, F.; MARACAJÁ, P.; SOUSA FILHO, A. L. Efeito de doses de ácido bórico na produção e qualidade de frutos de melão Harper. **Revista Verde**, v. 5, p. 132-139, 2010.

RIBEIRO, A. S. C.; OLIVEIRA, E. A.; MALDONADO, R. R. Optimization of osmotic dehydration of pear followed by conventional drying and their sensory quality. **LWT - Food Science and Technology**, v.72, p.407-415, 2016.

RICO, X.; GULLÓN, B.; ALONSO, J. L.; YÁÑEZ, R. Recovery of high value-added compounds from pineapple, melon, watermelon and pumpkin processing by-products: An overview. **Food Research International**, v. 132, p. 109086, 2020.

ROBINSON, R. W.; DECKER-WALTERS, D. S. Cucurbits. New York: CAB International. **Crop Prod Sci Hortic**, cap. 2, v. 226, p. 35, 1997.

ROCA, E.; GUILLARD, V.; BROYART, B.; GUILBERT, S.; GONTARD, N. Effective moisture diffusivity modelling versus food structure and hygroscopicity. **Food chemistry**, v. 106, n. 4, p. 1428-1437, 2008.

RODRIGUES, A. F.; SILVA, W. P., GOMES, J. P.; SILVA, C. M. D. P. S.; RAMOS, I. C. Estudo da secagem de bananas através do modelo de difusão usando soluções analíticas. **Anais. CONVIBRA**, 10 p., 2015.

ROLIM, P. M.; FIDELIS, G. P.; PADILHA, C. E. A.; SANTOS, E. S.; ROCHA, H. A. O.; MACEDO, G. R. Phenolic profile and antioxidant activity from peels and seeds of melon (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus*) and their antiproliferative effect in cancer cells. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 51, n. 4, 2018.

SAREBAN, M.; SOURAKI, B. Abbasi. Anisotropic diffusion during osmotic dehydration of celery stalks in salt solution. **Food and Bioproducts Processing**, v. 98, p. 161-172, 2016.

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 JUNIOR, A. F.; FARIAS, V. S. O.; ATAÍDE, J. S. P.; FRANCO, C. M. R.; SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P. S. S. Description of convective drying of carrot circular slices including shrinkage and variation of effective diffusivity. **Sylwan**, 2019.

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, E. C. O. **Influência do flavedo e da maceração nas características físico-químicas da farinha da casca de maracujá**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2017.

SILVA, E. F. M. **Modelos empíricos e difusivos para a descrição da secagem de bananas**. 2013. Campina Grande: Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, 2013. 117 p., Dissertação (mestrado).

SILVA, G. D.; BARROS, Z. M. P.; MEDEIROS, R. A. B.; CARVALHO, C. B. O.; BRANDAO, S. C. R.; AZOUBEL, P. M. Pretreatments for melon drying implementing ultrasound and vacuum. **LWT - Food Science and Technology**. v.74, p.114-119, 2016.

SILVA, M. A.; ALBUQUERQUE, T. G.; ALVES, R. C.; OLIVEIRA, M. B. P.; COSTA, H. S. Melon (*Cucumis melo* L.) by-products: Potential food ingredients for novel functional foods?. **Trends in Food Science & Technology**, v. 98, p. 181-189, 2020.

SILVA, W. P. **Discretizações em fenômenos de transporte computacional, Cursos 1 e 2** (2009) Apresentações em Powerpoint, online, disponível no endereço eletrônico: <http://zeus.df.ufcg.edu.br/labfit/TCMFC.htm>. Data de acesso: 12 de dez. 2020.

SILVA, W. P.; SILVA, C. M. D. P.; 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, **Agricultural Sciences, Scientific Research Publishing**, v.3, n. 04, p. 545, 2012.

SOCCOL, C. R.; SOUZA, V. L. P.; MEDEIROS, A. B. P.; KARP, S. G.; BUCKERIDGE, M.; RAMOS, L. P.; SILVA, B. E. P. Bioethanol from lignocelluloses: status and perspectives in Brazil. **Bioresource technology**, v. 101, n. 13, p. 4820-4825, 2010.

SODHA, M. S.; BANSAL, N. K.; KUMAR, A.; BANSAL, P.K.; MALIK, M. A. S. **Solar crop drying**. Boca Raton, CRC Press, v. 1, n. 2, 141p. 1987.

SOURAKI, B. A.; GHAVAMI, M.; TONDRO, H. Correction of moisture and sucrose effective diffusivities for shrinkage during osmotic dehydration of apple in sucrose solution. **Food and Bioproducts Processing**, v. 92, n. 1, p. 1-8, 2014.

STORCK, C. R.; NUNES, G. L.; DE OLIVEIRA, B. B.; BASSO, C. Leaves, stalk, pell and seeds of vegetables: nutritional composition, utilization and sensory analysis in food preparations. **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, p. 537-544, 2013.

SUTAR, N.; SUTAR, P. P. Developments in osmotic dehydration of fruits and vegetable-a review. **Trends Post Harvest Technol**, v. 1, n. 1, p. 20-36, 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: 15 mai. 2020.

TORTOE, C. A review of osmodehydration for the food industry. **African Journal of Food Science**, v. 4, n. 6, p. 303-324, 2010.

TROLLER, J. A.; CHRISTIAN, J. H. B. **Water activity and food**. Cambridge, Academic Press, v. 1, 1978.

TSANG, Y. F.; KUMAR, V.; SAMADAR, P.; YANG, Y.; LEE, J.; OK, Y. S.; JEON, Y. J. Production of bioplastic through food waste valorization. **Environment international**, v. 127, p. 625-644, 2019.

TUAN, P. A.; LEE, J.; PARK, C. H.; KIM, J. K.; NOH, Y. H.; KIM, Y. B.; PARK, S. U. Carotenoid biosynthesis in oriental melon (*Cucumis melo* L. var. *makuwa*). **Foods**, v. 8, n. 2, p. 77, 2019.

VASCONCELOS, M. A. D. S.; MELO FILHO, A. B. D. **Conservação de alimentos**. Programa Escola Técnica Aberta do Brasil (ETEC -Brasil) Recife: EDUFRPE,130f. 2010. Disponível em:
<http://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/316/Cons_Alimentos.pdf?sequence=2>. Acesso em 23 de julho 2020.

VELLA, F. M.; CAUTELA, D.; LARATTA, B. Characterization of polyphenolic compounds in cantaloupe melon by-products. **Foods**, v. 8, n. 6, p. 196, 2019.

VIEIRA, R. F. F. A.; CARVALHO, C. L. S.; CARVALHO, I. R. A.; CANDIDO, C. J.; SANTOS, E. F.; NOVELLO, D. Adição de farinha da casca de melão em cupcakes altera a composição físico-química e a aceitabilidade entre crianças. **Conexão Ci**, v. 12, n. 12, p. 2230, 2017.

YADAV, A. K.; SINGH, S. V. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. **Journal of food science and technology**, v. 51, n. 9, p. 1654-1673, 2014.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying technology**, v. 14, n. 10, p. 2225-2253, 1996.