

GILBERTO JOÃO PAVANI
(ORGANIZADOR)

Collection:

**APPLIED MECHANICAL
ENGINEERING
2**

GILBERTO JOÃO PAVANI
(ORGANIZADOR)

Collection:

**APPLIED MECHANICAL
ENGINEERING
2**

 **Atena**
Editora
Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Collection: applied mechanical engineering 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Gilberto João Pavani

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C697 Collection: applied mechanical engineering 2 / Organizador
Gilberto João Pavani. – Ponta Grossa - PR: Atena,
2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-982-7

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.827222904>

1. Mechanical engineering. I. Pavani, Gilberto João
(Organizador). II. Título.

CDD 621

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A engenharia mecânica aplica os princípios da engenharia, física e ciência dos materiais para a análise, projeto, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos como veículos, máquinas e ferramentas, requerendo a compreensão dos conceitos como automação, ciência dos materiais, cinemática, dinâmica, energia, mecânica dos fluidos, mecanismos, processos de fabricação, termodinâmica e vibrações com o auxílio de ferramentas computacionais para desenho e simulação.

A presente obra “Collection: Applied Mechanical Engineering 2” tem como objetivo a apresentação e a discussão de temas relevantes sobre a aplicação da engenharia mecânica na análise da influência dos parâmetros térmicos e estruturais da solidificação de ligas AA5052 na resistência à corrosão, análise termofluidodinâmica em trocadores de calor do tipo casco e tubo utilizando técnicas de CFD (Computational Fluid Dynamics ou dinâmica dos fluidos computacional), aparelho para exame de audiometria com Arduino, estudo de expressões matemáticas para a difusividade efetiva da água de cascas de maracujá durante a secagem, manutenção centrada em confiabilidade (RCM - Maintenance Focusing on Reliability) como estratégia para otimizar um plano de manutenção, simulação de superfícies de peças resultantes do fresamento de topo reto utilizando MATLAB ® e validação do método numérico utilizando os softwares Ansys ® e Matlab ®.

Portanto, esta obra apresenta grande potencial para contribuir com o entendimento dos temas apresentados, podendo servir como referência valiosa para novas pesquisas e estudos sobre as questões aqui discutidas.

Agradeço aos autores dos capítulos por suas valiosas contribuições e desejo aos leitores sucesso em seus futuros trabalhos de pesquisa sobre os temas apresentados nesta obra.

Gilberto João Pavani

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS TÉRMICOS E ESTRU-TURAIIS DA SOLIDIFICAÇÃO DE LIGAS AA5052 NA RESISTÊNCIA À CORROSÃO


Vinícius Pereira da Silveira
Dielson Muniz Silva
Lanna Almeida Pereira
José Roberto Pereira Rodrigues
Fabio Alejandro Carvajal Florez
Jean Robert Pereira Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229041>

CAPÍTULO 2..... 9

ANÁLISE TERMOFLUIDODINÂMICA EM TROCADORES DE CALOR DO TIPO CASCO E TUBO UTILIZANDO TÉCNICAS DE CFD

Lucas Vinícius da Silva Azevedo
Francisco Augusto Aparecido Gomes
Jakeline Loureiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229042>

CAPÍTULO 3..... 23

APARELHO PARA EXAME DE AUDIOMETRIA COM ARDUINO


Camila Baleiro Okado Tamashiro
Ricardo Costa Rossi
Gabriel Moisés de Camargo
João Pedro de Paiva da Silva
João Pedro Pereira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229043>

CAPÍTULO 4..... 29

ESTUDO DE EXPRESSÕES MATEMÁTICAS PARA A DIFUSIVIDADE EFETIVA ÁGUA DE CASCAS DE MARACUJÁ DURANTE A SECAGEM

Êmyle Myrelle Alves dos Santos
Aluizio Freire da Silva Júnior
Amélia Ruth Nascimento Lima
Josefa Dayse Lima Silva
Maria Tereza Lucena Pereira
Vera Solange de Oliveira Farias
Célia Maria Rufino Franco
Jair Stefanini Pereira de Ataíde
Luis Eduardo Araújo Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229044>


CAPÍTULO 5..... 40

MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (RCM) COMO ESTRATÉGIA PARA

OTIMIZAR UM PLANO DE MANUTENÇÃO

Esmeralda Hernandez Méndez

Miguel Ángel Rodríguez Lozada


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229045>

CAPÍTULO 6..... 53

SIMULAÇÃO DE SUPERFÍCIES DE PEÇAS RESULTANTES DO FRESAMENTO DE TOPO RETO UTILIZANDO MATLAB

Leon Yuhiti Mori Correa da Cunha

Milton Luiz Polli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229046>

CAPÍTULO 7..... 61

VALIDAÇÃO DO MÉTODO NUMÉRICO UTILIZANDO OS SOFTWARES ANSYS® E MATLAB®

Marie Madeleine Sarzi Inácio

Rubens Gallo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8272229047>

SOBRE O ORGANIZADOR..... 68

ÍNDICE REMISSIVO..... 69

CAPÍTULO 4

ESTUDO DE EXPRESSÕES MATEMÁTICAS PARA A DIFUSIVIDADE EFETIVA ÁGUA DE CASCAS DE MARACUJÁ DURANTE A SECAGEM

Data de aceite: 01/04/2022

Êmyle Myrelle Alves dos Santos

Centro de Educação e Saúde, Universidade Federal de Campina Grande
Cuité - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/5813805035805856>

Aluizio Freire da Silva Júnior

Centro de Educação e Saúde, Universidade Federal de Campina Grande
Cuité - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/4720593438601826>

Amélia Ruth Nascimento Lima

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará
Fortaleza - Ceará
<http://lattes.cnpq.br/8804163015012728>

Josefa Dayse Lima Silva

Centro de Educação e Saúde, Universidade Federal de Campina Grande
Cuité - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/1368600327137175>

Maria Tereza Lucena Pereira

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará
Fortaleza - Ceará
<http://lattes.cnpq.br/1101257330417991>

Vera Solange de Oliveira Farias

Centro de Educação e Saúde, Universidade Federal de Campina Grande
Cuité - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/0923353123868517>

Célia Maria Rufino Franco

Centro de Educação e Saúde, Universidade Federal de Campina Grande
Cuité - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/1728798138944094>

Jair Stefanini Pereira de Ataíde

Centro de Educação e Saúde, Universidade Federal de Campina Grande
Cuité - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/3201374347373584>

Luis Eduardo Araújo Santos

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/4658267293374624>

RESUMO: Este trabalho foi realizado com o objetivo de aplicar uma solução numérica para a equação de difusão (geometria de uma parede infinita) considerando a condição de contorno de terceiro tipo. Este modelo difusivo foi utilizado pretendendo encontrar a expressão mais adequada para a difusividade efetiva de água em função do teor de umidade local, para descrever o processo de secagem de cascas de maracujá. Os dados experimentais utilizados neste estudo foram obtidos através do projeto PIBIC/CNPq-UFCG (2019-2020), os quais referem-se à secagem de cascas de maracujá nas temperaturas de 60 e 70°C. Com o intuito de identificar a melhor expressão para a difusividade efetiva de água, a solução numérica foi acoplada a um otimizador obtido através de

um método inverso. Com o *software Infinity Slab Numerical* foram realizadas otimizações para a determinação dos parâmetros do processo, e também os gráficos de contorno que simulam a distribuição de água no interior do produto. A partir dos resultados, observou-se que o modelo proposto descreve bem o processo de secagem de cascas de maracujá, principalmente quando foi utilizada a expressão exponencial para a difusividade.

PALAVRAS-CHAVE: Simulação, Modelos difusivos, Solução numérica, Método dos volumes finitos, Otimização.

STUDY OF MATHEMATICAL EXPRESSIONS FOR THE EFFECTIVE WATER DIFFUSIVITY OF PASSION FRUIT PEELS DURING DRYING

ABSTRACT: This work was carried out with the objective of applying a numerical solution to the diffusion equation (geometry of an infinite slab) considering the boundary condition of the third kind. This diffusive model was used in order to find the most adequate expression for the effective water diffusivity as a function of the local moisture content to describe the drying process of passion fruit peels. The experimental data used in this study were obtained through the PIBIC/CNPq-UFMG project (2019-2020), which refer to the drying of passion fruit peels at temperatures of 60 and 70°C. In order to identify the best expression for the effective water diffusivity, the numerical solution was coupled to an optimizer obtained through an inverse method. Through the Infinity Slab Numerical software, optimizations were carried out to determine the process parameters, as well as the contour graphics that simulate the distribution of water inside the product. From the results, it was observed that the proposed model describes well the drying process of passion fruit peels, especially when using the exponential expression for diffusivity.

KEYWORDS: Simulation, Diffusive models, Numerical solution, Finite volume method, Optimization.

1 | INTRODUÇÃO

Estudos relacionados ao uso de resíduos de frutas e hortaliças como alternativas para indústrias farmacêuticas e alimentícias têm sido uma tendência recente (ZHANG et al., 2018; GALAZ et al., 2017; NAYAK, PAL E SANTRA, 2015). Isto é devido ao fato de que esses resíduos representam uma parte considerável da massa desses alimentos, e que o descarte ainda é a prática mais comum. No entanto, estudos já publicados têm demonstrado que resíduos como cascas e sementes possuem características nutricionais importantes; além de serem matéria prima para a produção de polissacarídeos como amido, pectina, entre outros (OLIVEIRA et al., 2016; MADRUGA et al., 2014). As cascas de maracujá estão entre os resíduos com potencial econômico.

A casca de maracujá, por ser um resíduo de um fruto largamente comercializado, tem alto potencial econômico. Isso tem estimulado pesquisas visando o estudo dos referidos potenciais. Entre as qualidades, as cascas de maracujá destacam-se como fonte rica em pectina, na ordem de 10-20% (LIEW, CHIN E YUSOF, 2014). De acordo com Liew, Chin & Yusof (2014), a pectina é um polissacarídeo complexo, composto principalmente de

ácido galacturônico, e é largamente utilizado em indústrias como farmacêutica, alimentícia e cosmética.

Como a secagem é uma etapa importante no processo de extração de alguns subprodutos (como os supracitados), uma descrição adequada dessa etapa faz-se necessário. Assim como ocorre na descrição da secagem de outros produtos agrícolas, modelos difusivos têm sido aplicados para a descrição da secagem de cascas de frutas (MPHAHLELE, PATHARE E OPARA, 2019; BEZERRA et al., 2015).

A solução numérica para a equação de difusão é a mais utilizada para resolver problemas mais complexos. Através dela é possível considerar a variação da espessura e da difusividade efetiva do produto em estudo (SILVA, 2012). Segundo Park et al. (2014) os valores para a difusividade efetiva de água dependem tanto das condições experimentais quanto do modelo matemático utilizado. Sendo assim, é notória a importância da escolha adequada para um modelo que expresse corretamente a variação desse parâmetro.

Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo principal aplicar uma solução numérica para a equação de difusão considerando a condição de contorno de terceiro tipo e geometria de uma parede infinita. Este modelo difusivo foi utilizado visando encontrar a expressão matemática mais adequada para a difusividade efetiva de água em função do teor de umidade local, para descrever o processo de secagem de cascas de maracujá.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Dados experimentais

Os dados utilizados neste estudo, referentes à secagem de cascas de maracujá nas temperaturas de 60 e 70°C, foram coletados durante a vigência do projeto PIBIC/CNPq-UFCG (2019-2020).

Com os dados experimentais obtidos, calculou-se a razão de umidade \bar{M} adimensional, através da seguinte equação:

$$\bar{M} = \frac{\bar{M}(t) - M_{\infty}}{M_i - M_{\infty}} \quad (1)$$

onde $\bar{M}(t)$ é o teor de umidade médio no tempo t , M_{∞} é o teor de umidade de equilíbrio e M_i é o teor de umidade inicial ($t=0$).

2.2 Modelagem Matemática

A Equação de difusão de massa é escrita como:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla(D\nabla M) \quad (2)$$

onde M é o teor de umidade adimensional médio, D é a difusividade efetiva da massa (m_2s^{-1}) e t é o tempo em segundos.

Admitindo a geometria de uma parede infinita, onde x representa a posição na parede, a Eq. (2) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial M}{\partial x} \right) \quad (3)$$

Para obter a solução numérica daEq. (3) foram admitidas as seguintes hipóteses:

- A parede possui espessura L ;
- A parede é homogênea e isotrópica;
- O único mecanismo de transporte de massa dentro da parede é a difusão;
- A espessura da parede pode variar durante a difusão;
- A difusividade efetiva de água pode variar com o tempo e a posição dentro da parede, e o coeficiente de transferência convectiva de massa permanece constante.

Existem vários métodos numéricos que são usados para resoluções de equações diferenciais parciais, tais como: elementos finitos, diferenças finitas e volumes finitos (CADÉ; NASCIMENTO; LIMA, 2005). O método utilizado para a solução proposta neste trabalho foi o Método dos Volumes Finitos, usando uma formulação totalmente implícita (MALISKA, 2013).

O Método dos Volumes Finitos (MVF) consiste em dividir um domínio contínuo em N volumes de controle (VC), como mostrado na Figura 1, e assim, a equação de conservação é aplicada a cada um deles. No centro de cada VC localiza-se um ponto (denominado ponto nodal) onde são calculados os valores das variáveis, implicando em uma equação algébrica para cada VC, onde apresentam os valores das variáveis do ponto calculado e nos pontos vizinhos (GONÇALVES, 2007).

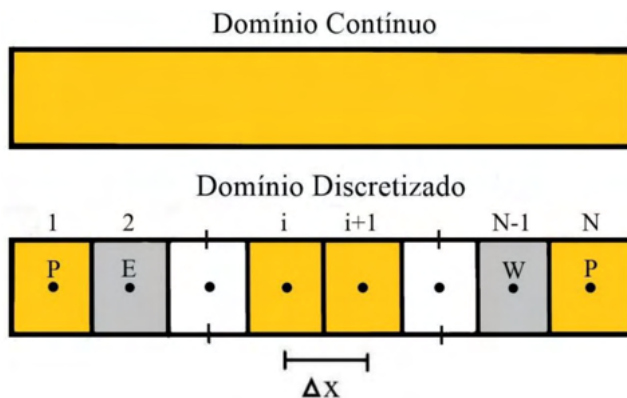


Figura 1: Domínio contínuo e discretizado.

FONTE: Autores.

A discretização é realizada integrando todos os termos da Eq. (3) que governa o fenômeno no espaço (Δx) e no tempo (t) para cada volume de controle do domínio. Sendo assim, o resultado é a equação discretizada contendo os valores de grandeza de interesse. Neste caso, a grandeza de interesse é o teor de umidade. Todo formalismo matemático relacionado à obtenção desta solução numérica pode ser encontrado em Silva Junior et al. (2019).

2.3 Software para ajustes e determinação do processo

Para a obtenção dos resultados propostos neste trabalho, foram utilizados os softwares *Lab Fit* e *Infinet Slab Numerical*. O primeiro foi utilizado para a obtenção dos melhores modelos para a descrição da variação da espessura do produto considerando o encolhimento das amostras. O segundo software, foi utilizado para a obtenção dos parâmetros da difusividade de água e do coeficiente de transferência convectiva de massa. Para obter tais parâmetros, foi acoplado um otimizador à solução numérica utilizada nesta pesquisa. Este otimizador foi desenvolvido por Silva Junior e Silva (2018) a partir de um método inverso, no qual são atribuídos valores iniciais aos parâmetros do processo e então estes são corrigidos a fim de minimizar uma função objetivo. A função objetivo utilizada foi o qui-quadrado (TAYLOR, 1997).

Com o resultado das otimizações, foi realizado um estudo para avaliar a melhor expressão para a difusividade efetiva com base nos valores do qui-quadrado (X^2) e do coeficiente de determinação (R^2). As expressões estudadas para a difusividade efetiva estão expostas no Quadro 1 a seguir, onde a e b são os parâmetros de ajuste, M é o teor de umidade médio e D é a difusividade efetiva de água.

Nº do Modelo	Expressão para a difusividade
1	$D(M) = b$
2	$D(M) = aM + b$
3	$D(M) = be^{aM}$
4	$D(M) = b \cosh(aM)$
5	$D(M) = be^{a\sqrt{M}}$

Quadro 1: Expressões para a difusividade efetiva de água.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a utilização do modelo descrito na seção 2.2, foi necessário acoplar ao código um otimizador para obtenção dos valores ótimos dos parâmetros termo-físicos do processo. Visto que a solução utilizada considera a variação da espessura do produto, utilizou-se o software *Lab Fit* (Silva e Silva, 2009) para obter a função que descreve tal variação. Os

gráficos da Figura 2 mostram o ajuste do modelo obtido aos dados experimentais para o encolhimento nas duas temperaturas estudadas.

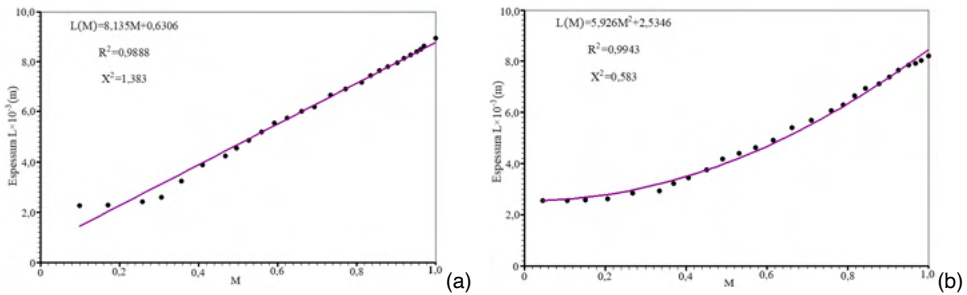


Figura 2: Evolução do encolhimento das amostras secas nas temperaturas de: (a) 60°C; (b) 70°C.

FONTE: Autores.

Além do encolhimento, a solução numérica também considera a variação da difusividade efetiva em função do teor de umidade local. Para encontrar a função que melhor descreveria essa difusividade cinco expressões (descritas no Quadro 1) foram analisadas. Este estudo foi realizado a partir dos dados experimentais de secagem de cascas de maracujá na temperatura de 60°C, e a função que apresentou os melhores indicadores estatísticos foi utilizada para otimização dos dados da temperatura de 70°C.

A Tabela 1, a seguir, mostra o resultado do estudo para as expressões matemáticas com os valores dos parâmetros obtidos no processo de otimização, onde a e b são os coeficientes de ajuste para a difusividade efetiva de massa e h é o coeficiente de transferência convectiva de massa. Cabe salientar que, para esta análise, foram consideradas malhas com 1.200 volumes de controle e 2.000 *steps* de tempo.

Nº	Parâmetros do processo (T=60°C)				
	a	b	h	χ^2	R^2
1	-	$4,1131 \times 10^{-8}$	$1,5247 \times 10^{-7}$	$3,4623 \times 10^{-2}$	0,98776
2	$2,776 \times 10^{-1}$	$1,5165 \times 10^{-12}$	$3,0758 \times 10^{-7}$	$1,1323 \times 10^{-3}$	0,99963
3	3,4462	$2,6626 \times 10^{-11}$	$1,9865 \times 10^{-7}$	$1,4512 \times 10^{-3}$	0,99954
4	3,9946	$4,0375 \times 10^{-11}$	$1,8206 \times 10^{-7}$	$2,3013 \times 10^{-3}$	0,99928
5	3,8601	$9,4208 \times 10^{-12}$	$2,4935 \times 10^{-7}$	$6,8134 \times 10^{-4}$	0,99978

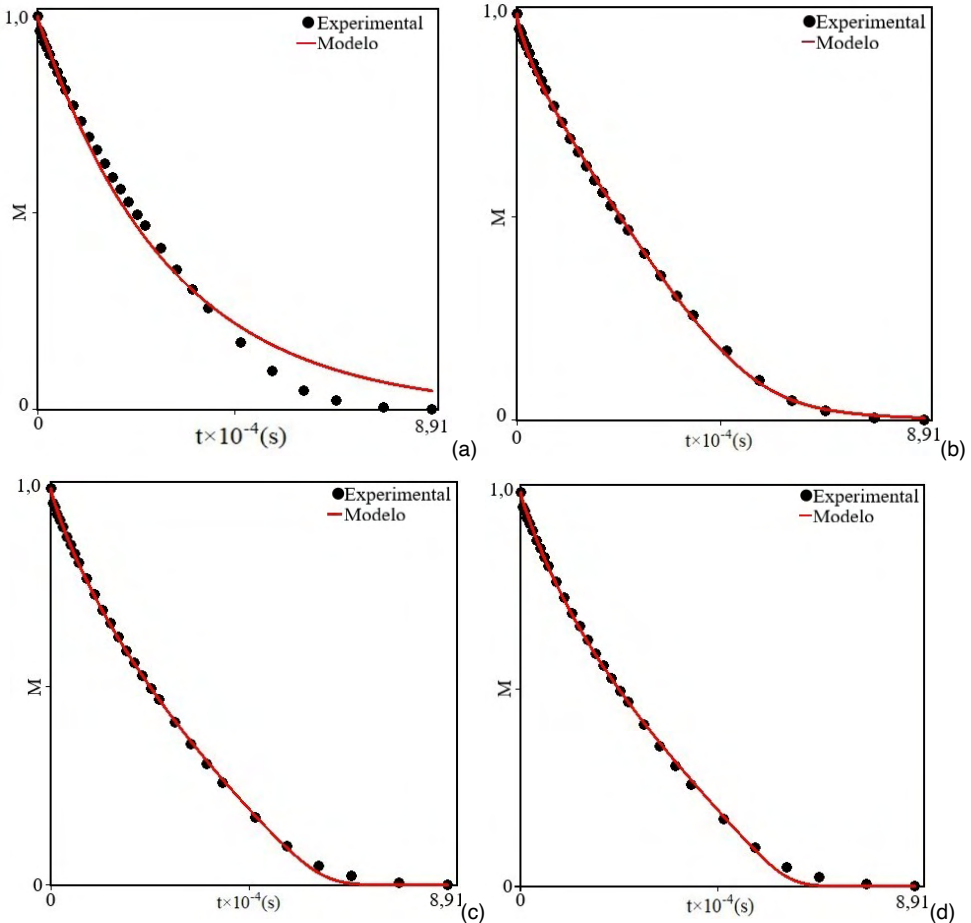
Tabela 1: Valores dos parâmetros obtidos via otimização.

Observando os dados contidos na Tabela 1, nota-se que a expressão 5 proporcionou os melhores indicadores estatísticos para a modelagem em estudo, ou seja, apresentou o menor χ^2 e R^2 mais próximo de 1. Sendo assim, ela foi escolhida para a realização das

outras análises. Enquanto isso, a expressão 1 apresentou os piores valores, visto que não considera a variação da difusividade.

Em um estudo realizado por Oliveira et al. (2022) foram aplicados dois modelos difusivos para a descrição de secagem de sementes de jaca. O primeiro considerava a variação da difusividade efetiva e da espessura, e o segundo desconsiderava tais variações. Através da análise dos indicadores estatísticos, concluiu-se que o primeiro modelo se ajustou de forma mais adequada aos dados experimentais. Reforçando a importância de considerar a variação da difusividade em modelos difusivos.

A Figura 3 mostra os gráficos de ajuste do modelo aos dados experimentais para cada expressão testada para a difusividade de massa das amostras secas a 60°C e utilizando os parâmetros apresentados na Tabela 1.



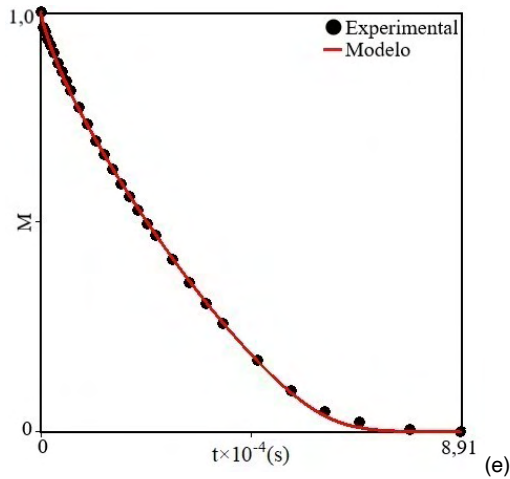


Figura 3: Ajustes do modelo aos dados experimentais das amostras secas a 60°C utilizando, para a difusividade, a expressão de número: (a) 1; (b) 2; (c) 3; (d) 4; (e) 5.

FONTE: Autores.

Os gráficos da Figura 3 corroboram com o observado através dos parâmetros descritos na Tabela 1, indicando que a expressão 5 influenciou diretamente no ajuste do modelo aos dados experimentais. Desta forma, esta expressão foi utilizada para otimização dos dados da temperatura de 70°C, cujos parâmetros estão descritos na Tabela 2 abaixo.

Nº	Parâmetros do processo (T=70°C)				
	a	b	h	χ^2	R^2
5	1,4013	$4,2354 \times 10^{-11}$	$6,7817 \times 10^{-7}$	$4,9094 \times 10^{-3}$	0,9885

Tabela 2: Valores dos parâmetros obtidos via otimização.

Em seguida, a Figura 4 apresenta o gráfico de ajuste do modelo aos dados experimentais para a temperatura de 70°C.

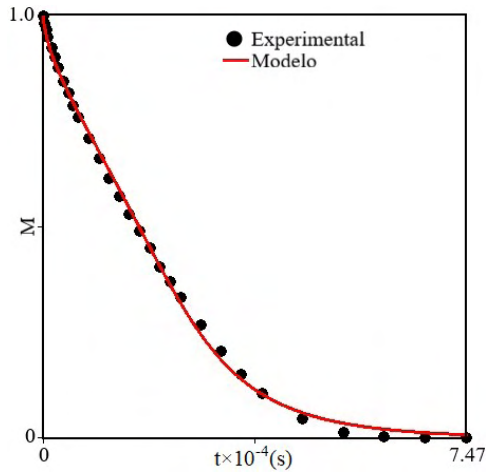


Figura 4: Ajuste do modelo aos dados experimentais das amostras secas a 70°C.

FONTE: Autores.

Além dos gráficos de ajuste, o *software Infinit Slab Numerical* também fornece gráficos de contorno que simulam a distribuição de água no interior do produto em cada instante de tempo do experimento. Esses gráficos podem ser vistos nas Figura 5 e 6 a seguir.

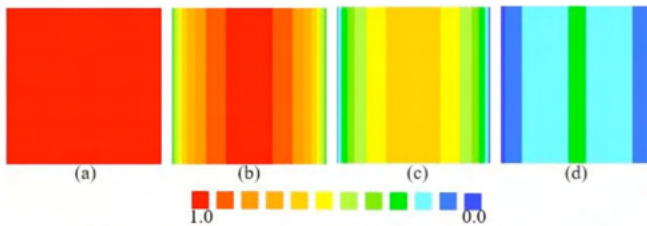


Figura 5: Gráficos de contorno para a secagem com temperatura de 60°C considerando a condição de contorno de terceiro tipo nos tempos: (a) 0 min; (b) 110min; (c) 375 min; (d) 728 min.

FONTE: Autores.

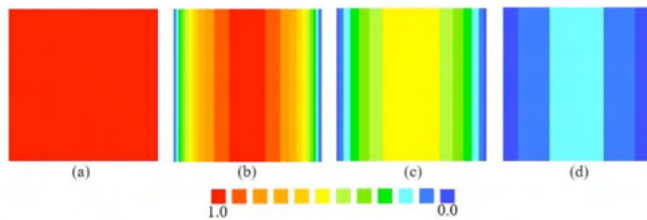


Figura 6: Gráficos de contorno para a secagem com temperatura de 70°C considerando a condição de contorno de terceiro tipo nos tempos: (a) 0 min; (b) 138min; (c) 345 min; (d) 590min.

FONTE: Autores.

Pela Figura 5 percebe-se que após 728 min de secagem, as fronteiras leste e oeste

do produto já se encontraram em equilíbrio com o meio externo. Já na Figura 6, é possível notar que esse equilíbrio foi obtido depois de 590 min de processo. Isso significa que as amostras secas a 70°C possuíram uma menor resistência superficial a perda de água durante o processo se comparada às amostras secas a 60°C, influenciando no tempo total de secagem. Essa resistência também é observada pelos valores do coeficiente de transferência convectiva de massa (h) contidos nas Tabelas 1 e 2.

4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho foram testadas cinco expressões matemáticas para a descrição da difusividade efetiva de água durante a secagem convectiva de cascas de maracujá. Foi possível concluir que a melhor expressão para descrever tal processo foi a expressão de número 5, que corresponde a uma função exponencial, visto que apresentou os melhores indicadores estatísticos.

O modelo proposto descreveu adequadamente a cinética de secagem das cascas de maracujá. Pelos valores obtidos via otimização, observou-se que as amostras secas à 70°C apresentaram uma menor resistência a perda de água no produto, implicando em uma redução no tempo de secagem. Portanto, a metodologia utilizada neste trabalho pode ser aplicada na descrição da secagem de outros produtos orgânicos cuja geometria seja aproximada a uma parede infinita.

AGRADECIMENTOS

O segundo autor desse trabalho agradece à FAPESQ pelo apoio financeiro. As autoras um e quatro desse trabalho agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas que as possibilitaram contribuir com a presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

BEZERRA, C. V.; SILVA, L. H. M.; CORRÊA, D. F.; RODRIGUES, A. C. **A modeling study for moisture diffusivities and moisture transfer coefficients in drying of passion fruit peel.** *International Journal of Heat and Mass Transfer.* v. 85, p. 750-755, 2015.

CADÉ, M. A.; NASCIMENTO, J. J. S.; DE LIMA, A. G. B. **Secagem de tijolos Cerâmicos Vazados: Uma Aproximação por Volumes Finitos.** *Revista Matéria.* V. 10, p. 443-453, 2005.

GALAZ, P.; VALDENEGRO, M.; RAMÍREZ, C.; NUÑEZ, H.; ALMONACID, S.; SIMPSON, R. **Effect of drum drying temperature on drying kinetic and polyphenol contents in pomegranate peel.** *Journal of Food Engineering.* v. 208, p. 19-27, 2017.

GONÇALVES, N. D. F. **Método dos Volumes Finitos em Malhas Não-Estruturadas.** Tese (Mestrado em Engenharia Matemática)- Faculdade de Ciências da Universidade de Porto. Porto, p. 16. 2007.

LIEW, S. Q.; CHIN, N. L.; YUSOF, Y. A. **Extraction and Characterization of Pectin from Passion Fruit Peels**. Agriculture and Agricultural Science Procedia. v. 2, p. 231-236, 2014.

MADRUGA, M. S.; ALBUQUERQUE, F. S. M.; SILVA, I. R. A; AMARAL, D. S.; MAGNANI, M.; NETO, V. Q. **Chemical, morphological and functional properties of Brazilian jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) seeds starch**. Food Chemistry. v.143, p. 440–445, 2014.

MALISKA, C. R. **Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional**. LTC: Rio de Janeiro, 2013, 453 p.

MPHAHLELE, R. R.; PATHARE, P. B.; OPARA, U. L. **Drying kinetics of pomegranate fruit peel(cv. Wonderful)**. Scientific African. v.5, 2019.

NAYAK, A. K.; PAL, D.; SANTRA, K. **Screening of polysaccharides from tamarind, fenugreek and jackfruit seeds as pharmaceutical excipients**. International Journal of Biological Macromolecules. v. 79, p. 756–760, 2015.

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

OLIVEIRA, T. M. Q.; SILVA JUNIOR, A. F.; FARIAS, V. S. O.; MEDEIROS, R. A.; LIMA, A. R. N. **Description of drying of jackfruit seed through diffusive models**. Journal of Food Processing and Preservation, 00, e16389, 2022.

PARK, K. J. B.; PARK, K. J.; ALONSO, L. F. P.; CORNEJO, F. E. P.; FABBRO, I. M. D. **Secagem: Fundamentos e equações**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v. 16, n.1, p.93-127, 2014.

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, W. P.; SILVA, C.A.M.D.P.S. **LAB Fit curve fitting software**, V.7.2.46. (2009); Online. Disponível em:<www.labfit.net>. Acesso em: jan. 2022.

SILVA JUNIOR, A. F.; SILVA, W. P.; AIRES, J. E. F.; AIRES, K. L. C. A. **Numerical approach to describe complementary drying of banana slices osmotically dehydrated**. Heat Mass Transfer. v. 54, p. 267-276, 2018.

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. **Description of convective drying of carrot circular slices including shrinkage and variation of effective diffusivity**. Sylwan, v. 163, p. 243-269, 2019.

TAYLOR, J. R. **An introduction to error analysis**. Sausalito, California: University Science Books, 2nd Edition, 1997.

ZHANG, L. L.; LV, S.; XU, J. G.; ZHANG, L. F. **Influence of drying methods on chemical compositions, antioxidant and antibacterial activity of essential oil from lemon peel**. Natural Product research. v. 32, p. 1184–1188, 2018.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Alumínio 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14

Arduino 23, 24, 25, 27

C

Casco e tubo 9, 15

CFD - Computational Fluid Dynamics 9, 22

Confiabilidade 40

Corrosão 1, 2, 4, 5, 6, 7

E

Educação 23, 29, 68

F

Fresamento 53, 54, 57, 59, 67

I

Impedância 1, 4, 6, 7

M

Manutenção Centrada em Confiabilidade - RCM 40

MATLAB 53, 54, 65

Método direto 61, 62, 66

Método dos volumes finitos 21, 30, 32, 38

Modelos difusivos 30, 31, 35

O

OpenFOAM 9, 10, 13, 14, 21, 22

Otimização 30, 34, 36, 38

R

Robótica 23, 25

S

Saúde 23, 24, 25, 27, 29, 68

Simulação 10, 13, 15, 19, 21, 30, 53, 54, 57, 58, 59, 61, 63, 65

Simulação numérica 21, 61

Solidificação 1, 2, 3, 5

Solução numérica 29, 30, 31, 32, 33, 34

T

Transferência de calor 9, 10, 12, 15, 16, 17, 20, 21, 22, 39, 61, 62, 65, 66, 67

Trocador de calor 9

U

Usinagem 53, 54, 67

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED MECHANICAL ENGINEERING 2

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 @atenaeditora
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED MECHANICAL ENGINEERING 2