

# SECAGEM COMBINADA MICROONDAS-CONVECTIVA DE SÓLIDOS ESFEROIDAIS PROLATOS VIA MÉTODO DOS VOLUMES FINITOS

Elisiane Santana de Lima (1); Wanderson Magno Paiva Barbosa de Lima (2); Antonio Gilson Barbosa de Lima (3); Edna Gomes da Silva (4)

*1 Universidade Estadual da Paraíba, limaelisanelima@hotmail.com*

*2 Universidade Federal de Campina Grande, wan\_magno@hotmail.com*

*3 Universidade Federal de Campina Grande, antonio.gilson@ufcg.edu.br*

*4 Universidade Estadual da Paraíba, dinasansil@yahoo.com.br*

## Introdução

Secagem é o processo de remoção de umidade do produto até certo valor limite. A eficácia da técnica de secagem pode ser avaliada em dois níveis: no custo do processo e na qualidade final do produto seco. Em alguns casos, o tempo de secagem é bastante importante em vista da velocidade de produção. No caso da qualidade dos produtos alimentares: aparência e valor biológico são irrelevantes para o tempo de secagem.

Há diversas técnicas de secagem que são interligadas, dentre elas pode-se citar a secagem convectiva (ar quente) e a secagem por ondas eletromagnéticas (por exemplo, micro-ondas). A secagem por micro-ondas apresenta diversas vantagens com relação as outras técnicas de secagem. Por exemplo, proporcionou uma secagem uniforme e em menor tempo de processo. Isto confere ao produto qualidade pós-secagem e produtividade (SILVA, 2016; LIMA, 2016).

Devido à importância, vários estudos teóricos e experimentais são direcionados para a secagem de sólidos porém, escassos são as pesquisas com sólidos porosos de geometria complexa. Neste sentido, esta pesquisa está focada na avaliação do teor de umidade e da temperatura em diferentes instantes do processo da secagem combinada micro-ondas – convectiva de sólidos esferoidais prolatos. O modelo é bidimensional, transiente com condições iniciais constantes, condições de contorno do primeiro tipo e propriedades termo físicas constantes.

As equações governantes foram resolvidas numericamente usando o método dos volumes finitos, numa formulação totalmente implícita. Dados experimentais da secagem de grãos de arroz em casca in natura (variedade BRSMG Conai), considerados como esferoides prolatos, foram utilizados nos ajustes implementados no programa computacional do software Mathematica® com objetivo de realizar uma comparação entre os dados teóricos e experimentais do teor de umidade médio. O ajuste proporciona a otimização dos coeficientes de transporte via método dos mínimos quadrados.

## Metodologia

Para o estudo teórico da secagem, foi considerado um esferóide prolato. O modelo matemático que representa o problema físico da

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

[www.conapesc.com.br](http://www.conapesc.com.br)

secagem combinada micro-ondas/ convectiva de sólidos esferoidais prolatos foi desenvolvido baseando-se na lei I de Fick e Fourier.

A complexidade na obtenção de soluções analíticas, levaram-nos a procura de métodos numéricos para resolução das equações diferenciais elípticas em coordenadas esferoidais prolatos. A equação de difusão foi discretizada pelo método numérico dos volumes finitos, e um código computacional foi implementado para resolver o sistema de equações lineares usando a malha uniforme de 20x20 pontos nodais e o método iterativo Gauss-Seidel. O método numérico dos volumes finito (MVF) foi escolhido em virtude do mesmo condicionar o número de pontos da malha numérica ao intervalo de tempo entre dois valores consecutivos, para o mesmo ponto da variável em estudo (Teor de umidade e Temperatura).

Os modelos matemáticos apresentados foram desenvolvidos para prever a cinética de secagem e aquecimento de grãos de arroz em casca (variedade BRSMG Conai), tratando o grão como esferóide prolato. O encolhimento do grão não foi considerado. Nos instantes iniciais, os dados experimentais apresentaram uma taxa de secagem elevada, requerendo-se, portanto, que os experimentos fossem realizados em tempos menores para não afetar o aspecto físico do produto.

Com relação ao aspecto estatístico, não é satisfatório, uma vez que uma densidade elevada de números de pontos ocorre nesses intervalos de tempo (tempos iniciais de secagem) em comparação aquela para os períodos finais de secagem. A distribuição não uniforme de pontos experimentais ao longo do processo de secagem, prejudica diretamente a comparação destes dados com os dados preditos e, visando estimar os coeficientes de transporte, e contornar este problema, foi implementado a equação exponencial para o teor de umidade adimensional em base seca, no código computacional com objetivo de permitir uma comparação entre os teores de umidades preditos e experimentais em tempos aproximadamente espaçados ou seja, para uma distribuição de pontos aproximadamente uniforme.

Os desvios entre os valores preditos e experimentais foram calculados através do erro quadrático médio (ERMQ) apresentado em Lima (1999), e os melhores valores obtidos para o coeficiente de difusão de massa (D) teve como base o menor valor do erro médio quadrático. Neste trabalho o modelo foi ajustado para condições de secagem em micro-ondas na potência nominal de 0,192 W (Silva, 2016). Para a obtenção dos resultados simulados, foi utilizado software Mathematica®. Os resultados foram expostos na forma gráfica utilizando o software Grapher®.

## **Resultados e discussão**

A análise da distribuição do teor de umidade e temperatura no interior do grão visa demonstrar a evolução das tensões hidromecânicas desenvolvidas no material em virtude dos altos gradientes de umidade e temperatura. Nesta pesquisa foram avaliadas as distribuições do teor de umidade e temperatura em diferentes instantes de processo, bem como as cinéticas de secagem e aquecimento de grãos de arroz, considerados como esferóide prolato. O valor do coeficiente de difusão de massa (D) estimado pelo modelo de Fick (hm infinito) foi de 3,122.

(83) 3322.3222

[contato@conapesc.com.br](mailto:contato@conapesc.com.br)

[www.conapesc.com.br](http://www.conapesc.com.br)

Da comparação observou-se uma boa concordância entre os resultados experimentais e os preditos estudados. Observou-se também que a migração de umidade ocorreu do centro para a superfície do produto, indicando secagem mais intensa na região próxima a ponto do grão de arroz. O fluxo de calor ocorreu em sentido contrário.

## Conclusões

Neste trabalho, verificou-se que o fluxo de umidade do produto migra do centro para a superfície, acarretando altos gradientes térmicos e hidrúcos. A otimização do coeficiente de difusão de massa (D) deu-se a partir dos ajustes implementados no código computacional “Mathematical Wolfran®”, e um bom ajuste foi obtido, evidenciando a importância do modelo matemático proposto e da metodologia adequada.

## Fomento

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES e CNPQ/PIBIC/UEPB, pelo apoio financeiro.

## Referências

Lima, A. G. B. **Fenômeno de Difusão em sólidos Esferoidais Prolatos. Um estudo de caso: secagem de banana.** 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1999.

Silva, E. G. **Secagem Combinada (convectiva e micro-ondas) de Sólidos Esferoidais Prolatos: Modelagem, Simulação e Experimentação.** 2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2016.

Lima, A. G. B.; Delgado, J. M. P. Q.; Silva, E. G.; Farias Neto, S. R.; Santos, J. P. S.; Lima, W. M. P. B. **Drying Process in Electromagnetic Fields.** In: J. M. P. Q. Delgado; A. G. Barbosa de Lima. (Org.). **Drying and Energy Technologies Series: Advanced Structured Materials.** 63 ed. Heidelberg (Germany): Springer-Verlag, 2015, v. 63, p. 89-110.

Lima, A. G. B. (Ed.). **Drying and Energy Technologies.** Cham: Springer International Publishing, 2016. p.89-110. ISBN 978-3-319-19767-8.

Silva, J. V.; Franco, C. M. R.; Pereira, E. M. A.; Andrade, T. H. F.; Barbosa de Lima, A. G. **Rough Rice Grain Drying (BRSMG CONAI) at Temperatures of 60 and 80°C in Oven.** Defect and Diffusion Forum <sup>JCR</sup>, v. 369, p. 148-151, 2016

Silva, V. S.; Delgado, J. M. P. Q.; Barbosa de Lima, W. M. P.; Barbosa de Lima, A. G. **Heat and Mass Transfer in Holed Ceramic Material Using Lumped Model.** Diffusion Foundations, v. 7, p. 30-52, 2016.