

<https://eventos.utfpr.edu.br//sicite/sicite2019>

Estudo numérico da difusão de massa do trigo

Numerical study of wheat mass diffusion

RESUMO

Rebeca Becker Miranda
rebecabeckermiranda@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Dois Vizinhos, Paraná, Brasil.

Gracielle Johann
graciellej@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Dois Vizinhos, Paraná, Brasil.

O processo de difusão de massa tem papel fundamental no armazenamento de grãos. Com enfoque na secagem do grão de trigo, que apresenta carga energética e nutritiva, sendo rico em proteínas e carboidratos, objetivou-se estudar numericamente a difusão de massa durante a secagem dos grãos. Para realização do estudo, foram utilizados dados de cinética de secagem de grãos de trigo, obtidos na literatura para o processo conduzido a 25 oC. Após resolução da Lei de Fick da difusão mássica, com condições de contorno de equilíbrio e de simetria, obteve-se o perfil da umidade ao longo do grão de trigo, para diferentes tempos de secagem, o que torna o presente estudo útil em termos de previsão de gradientes de umidade.

PALAVRAS-CHAVE: Secagem. Trigo. Modelo matemático.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

The process of mass diffusion plays a fundamental role in grain storage. Focusing on the drying of the wheat grain, which has an energetic and nutritious load, being rich in proteins and carbohydrates, the objective was to numerically study the mass diffusion during the drying of the grains. To perform the study, we used data on drying kinetics of wheat grains obtained in the literature for the process conducted at 25 oC. After resolving Fick's law of mass diffusion, with equilibrium and symmetry boundary conditions, the moisture profile along the wheat grain was obtained for different drying times, which makes the present study useful in terms of prediction of moisture gradients.

KEYWORDS: Keyword one. Keyword two. Keyword three.

INTRODUÇÃO

Em 2018, no Brasil, 87% do trigo era produzido na região Sul, contudo devido ao auxílio das novas tecnologias, regiões no Sudoeste e Centro-Oeste vêm aumentando sua produção, conforme mostra a tabela de 2015 do Conab (Companhia Nacional de Abastecimento):

Tabela 1 – Produção por estado no Brasil

Estado	Área plantada (mil/ha)	Produtividade (Kg/ha)	Produção(mil/t)
Paraná	1.339,90	2.506	3.357,80
Rio Grande do Sul	861,30	1.700	1.464,20
Minas Gerais	82,20	2.982	245,10
Mato Grosso do Sul	15,00	2.000	30,00
Distrito Federal	1,60	6.000	9,60
Brasil	2.4488,80	2.260	5.5324,90

Fonte: Conab (2015).

A maior parte do crescimento ano a ano é atribuído a uma maior produção de trigo, atualmente prevista em quase 771 milhões de toneladas, 5,6% a mais que no ano de 2018. Total utilização de trigo está prevista em 758 milhões de toneladas, 1,5 por cento maior que em 2018/19 (FAO, 2019).

Para a conservação do trigo durante o armazenamento, é importante e necessário a realização da secagem dos grãos, uma vez que esta tem por objetivo principal reduzir a umidade a valores que permitam a conservação da qualidade nutricional, sua aparência e viabilidade da semente desenvolvidas durante a fase de campo (BIAGI & VALENTINI, 1992). A remoção da umidade, através do processo de transferência de calor e massa entre o ar de secagem e o produto, deve ser realizado de modo que o produto fique em equilíbrio com o ar do ambiente onde será armazenado (SILVA et al., 1995a).

Assim, a secagem tem papel fundamental no processo de armazenamento do trigo, uma vez que possibilita antecipar a colheita, evitando perdas recorrentes de intempéries, fornece condições ao produtor de obter preços melhores na comercialização, caso esteja associada ao armazenamento, promove o aumento do preço ao ofertar produtos de melhor qualidade, quanto às características nutritivas e aparentes e também proporciona sementes de porcentagens altas para germinar (BIAGI & VALENTINI, 1992; ATHIÉ et al., 1998).

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi resolver o modelo da difusão, com base na Lei de Fick e em condições de contorno de equilíbrio e de simetria, para descrever o processo de secagem de grãos trigo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Considerando que o fluxo por difusão $\phi(x,t)$ do soluto S é proporcional ao gradiente de concentração, c , entre os dois lados da membrana, em que D é o

coeficiente de difusão. Conforme a equação (1), supõe-se que D é uma constante positiva ou nula ($D \geq 0$):

$$\varphi(z, t) = -D \times \frac{\partial c(z, t)}{\partial z} \quad (1)$$

A Lei da difusão de Fick propõe uma relação direta entre a variação da umidade no tempo e a difusividade na variação quadrática da umidade no espaço, conforme a equação (2):

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D \cdot \frac{\partial X}{\partial z} \right) \quad (2)$$

em que: X é teor de água do produto (b.s.), D é coeficiente de difusão líquida ($m^2 \cdot s^{-1}$), t é o tempo (s), e z é a coordenada espacial (m).

A variação do teor de umidade em função do tempo de secagem, considerando materiais homogêneos com coeficiente de difusão constante, é representada pela equação (3):

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D * \left[\frac{\partial^2 X}{\partial r^2} + \frac{c}{r} * \frac{\partial X}{\partial r} \right] \quad (3)$$

em que, r: distância radial ou espessura, m; c = 0 para corpos planos; c = 1 para corpos cilíndricos; e c = 2 para corpos esféricos.

Para resolução das equações como a anterior, pode-se utilizar métodos numéricos e analíticos. Sendo os numéricos aqueles que aplicam algoritmos para formular e resolver problemas complexos matemáticos, tendo como objetivo principal encontrar para estes problemas soluções “aproximadas”. E no caso dos métodos analíticos, soluções baseadas em fórmulas matemáticas, são desenvolvidas geralmente de forma manual, onde variáveis de saída são calculadas por meio de variáveis de entradas definidas.

A resolução da Eq. (3) exige uma condição inicial, que é a umidade no tempo inicial, e duas condições de contorno. Essas últimas foram obtidas assumindo que não havia fluxo de massa no centro do grão, que é uma condição de simetria, e assumindo uma condição de equilíbrio na interface sólido fluido, nas bordas do grão, supondo que em um tempo maior que zero ocorre um equilíbrio instantâneo (JOHANN et al, 2015):

$$\left. \frac{\partial X}{\partial r} \right|_{r=0} = 0 \quad (4)$$

$$X|_{r=R} = X_E, t > 0 \quad (5)$$

Para solução do problema, foi utilizado o *software* Maple versão 2016, considerando a difusividade mássica igual a $0,9044 \times 10^{-10} m^2 \times s^{-1}$ (GONELI et al, 2007), ainda, considerou-se que os grãos eram esféricos e com raio igual a $2,45 \times 10^{-3} m$ (Mohsenin, 1996).

Para calcular o perfil de umidade ao longo do grão de trigo, foram utilizados dados de secagem a 25 oC (GONELI et al, 2007), Tabela 2.

Tabela 2 – Variação da umidade conforme o tempo.

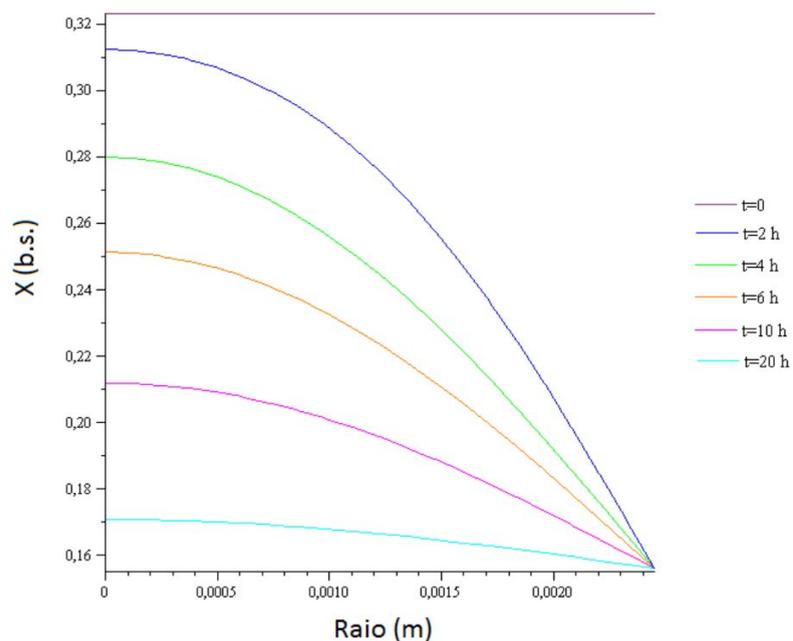
Tempo (h)	U (decimal b.s.)
0,00	0,3231
1,00	0,2782
2,00	0,2601
3,00	0,2464
5,00	0,2237
7,00	0,2081
24,00	0,1678
33,00	0,1658
54,58	0,1636
77,00	0,1604
105,50	0,1562

Fonte: GONELI et al (2007).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após resolução da Eq. (3), foi obtido o perfil de umidade dos grãos de trigo, Figura 1.

Figura 1. Perfil da umidade em 25°C.



Fonte: Autoria própria (2019).

Da Figura 1, é possível observar que, conforme esperado, a umidade dos grãos de trigo diminui à medida que o raio aumenta. Ou seja, no centro do grão há

maior umidade, e conforme aproxima-se da periferia, o grão fica cada vez mais seco.

CONCLUSÃO

Foi resolvida a Lei de Fick da difusão mássica para grãos de trigo, com condições de contorno de equilíbrio e de simetria. O perfil de umidade obtido indicou que existe gradiente expressivo ao longo da matriz sólida. Assim, o presente estudo matemático de secagem pode ser útil na previsão de gradientes de umidade, a fim de prevê-los e evitar quebras na matriz.

AGRADECIMENTOS

Esta seção é obrigatória nos trabalhos que receberam bolsa e auxílio financeiro. Deve apresentar os agradecimentos aos principais órgãos de fomento (bolsa e auxílio financeiro), instituições e pessoas que contribuíram para a realização do trabalho. Não exceder 50 palavras e alocá-los após as referências.

REFERÊNCIAS

- ATHIÉ, I.; CASTRO, M. F. P. M.; GOMES, R. A. R.; VALENTINI, S. R. T. Conservação de grãos. Campinas, Fundação Cargill, 1998. 236p. Acesso: 08 agosto 2019.
- BIAGI, J. D.; VALENTINI, S. R. de T. Secagem de produtos agrícolas. In: CORTEZ, L. A. B. & MAGALHÃES, P. S. G.(coordenadores) Introdução a Engenharia Agrícola. 2ed. Campinas, UNICAMP. p.245-246. 1992. Acesso: 05 agosto 2019.
- Conab. A cultura do trigo. Organizadores: Aroldo Antonio de Oliveira Neto e Candice Mello Romero Santos. 2017. https://www.conab.gov.br/uploads/arquivos/17_04_25_11_40_00_a_cultura_do_trigo_versao_digital_final.pdf Acesso 24 jul. 2019.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. CROP PROSPECTS and Quarterly Global Report FOOD SITUATION . FAO, 2019. <http://www.fao.org/3/ca5327en/ca5327en.pdf>. Acesso: 08 agosto 2019.
- FLANDRIN, J. L.; MONTANARI, M. (Dir.). História da alimentação. São Paulo: Estação Liberdade, 1998. Acesso: 01 agosto 2019.
- GONELI, A. L. D., CORRÊA, P.C., RESENDE, O., REIS NETO, S. A., Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, 27(1): 135-140, jan.-mar. 2007. Acesso: 23 jul. 2019.
- JOHANN, G., MENEZES, M. L., PEREIRA, N.C., SILVA, E. A. Applied Thermal Engineering, Comparing models to Neumann and Dirichlet conditions in grape seed drying. 2015. Acesso: 09 agosto 2019.
- Mohsenin, N. N, (Ed.). 1996. *Physical characteristics: physical properties of plant and animal materials*. Gordon and Breach Science publisher. Acesso: 08 agosto 2019.
- ROSSI, R. M.; NEVES, M. F. (Coord.). Estratégias para o trigo no Brasil. São Paulo: Atlas, 2004. Acesso: 08 agosto 2019.

SILVA, J.de S.; AFONSO, A. D. L.; GUIMARÃES, A. C. Estudos dos métodos de secagem. In: SILVA, J.de S. (ed). Pré-processamento de Produtos Agrícolas. 1ed. Juiz de Fora. p.105 –143. 1995a. Acesso: 07 agosto 2019.