

DESENVOLVIMENTO DE MÓDULO PARA DETERMINAÇÃO DA DIFUSIVIDADE TÉRMICA DE FARINÁCEOS

Fernanda Ferrareze (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Mônica Ronobo Coutinho (Orientadora),
Wagner André dos Santos Conceição (Co-Orientador), e-mail: ra113524@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá/ Centro de Tecnologia/ Departamento de
Engenharia Mecânica/ Maringá, PR.

Engenharia Mecânica, Fenômenos de Transporte.

Palavras-chave: propriedades térmicas, Arduino, sensores.

Resumo:

Os equipamentos para aulas experimentais nos cursos de engenharia costumam ser muito custosos, porém, atualmente dispomos de poucos recursos financeiros para a implementação ou modernização desses módulos. Neste contexto, a solução encontrada é a utilização de equipamentos de baixo custo, como o Arduino, sensores compatíveis e impressão 3D. Arduino é uma plataforma de prototipagem que foi criada com o objetivo de facilitar o aprendizado e possibilitar o desenvolvimento de projetos a custo relativamente baixo. Neste trabalho será apresentado um método alternativo para determinação da difusividade térmica de farináceos, por meio da utilização de uma placa de aquisição (Arduino) e sensores, que ajudam a registrar dados experimentais. Com a disponibilidade de ferramentas tecnológicas, como o Arduino, sensores e com o uso dos programas Excel e Scilab, foi possível coletar com maior precisão os dados, para, enfim, calculá-los. Os valores médios encontrados para as difusividades térmicas a 65 °C foram $2,380 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ e $3,520 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, da farinha de trigo e de mandioca, respectivamente. Com estes resultados, concluiu-se que os valores encontrados para a difusividade térmica de ambas as farinhas estão dentro do esperado, em comparação com a literatura, provando a efetividade do experimento em pequena escala e dos meios utilizados para obter seus dados.

Introdução

Uma das prioridades na tomada de decisões, na indústria de alimentos, é conhecer as propriedades térmicas dos alimentos, para um adequado processo de fiscalização, desenvolvimentos de novos produtos ou no projeto de equipamentos e processos.

O conhecimento das propriedades térmicas são fundamentais para o correto controle de todas as operações de processamento de alimentos, que envolvem a transferência de calor, tais como: aquecimento, resfriamento, congelamento, descongelamento e fritura. Valores precisos e confiáveis de propriedades térmicas

são necessários para simular a temperatura durante tratamentos de calor, transporte, armazenagem e distribuição de alimentos (BETTA et al., 2009).

A difusividade térmica é uma das propriedades térmicas mais importantes de substâncias que podem ser determinadas por meio de experimentos. Esta propriedade intervém de modo crucial durante processos transitórios, sendo que, seu conhecimento é importante não só na fase de preservação, mas também para evitar danos irreversíveis causados por grandes variações de temperaturas (BAIRI; LARAQI; MARIA, 2007).

A difusividade térmica (α) depende de três propriedades físicas, condutividade térmica (k), densidade (ρ) e calor específico (c_p), definida pela Equação (1) (ÇENGEL, 2012):

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c_p} \quad (1)$$

A difusividade térmica representa a capacidade do material de conduzir calor em relação a sua capacidade de armazená-la (BETTA, et al., 2009). Também define o quão rápido o calor se propaga ou difunde-se através do material. O modelo matemático que será utilizado é o de sólido semi-infinito, com temperatura constante na superfície (Equação 2) (ÇENGEL, 2012).

$$\frac{T(x,t)-T_i}{T_s-T_i} = \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right) \quad (2)$$

em que $T(x,t)$ representa a temperatura à distância x em relação à superfície e no instante de tempo t (em segundos), T_i é a temperatura inicial e T_s é a temperatura superficial.

Para a coleta de dados, usou-se uma placa Arduino, bem como seu programa desenvolvedor (Arduino IDE), com o intuito de registrar a mudança de temperatura com o passar do tempo, a partir do estímulo térmico proveniente de uma lâmpada de aquecimento posicionada sobre os termopares imersos na farinha. O objetivo deste trabalho é desenvolver um módulo de baixo custo para a determinação da difusividade térmica de farináceos, por meio da utilização do software Scilab e placas de aquisição com sensores para a obtenção dos dados experimentais.

Materiais e Métodos

Materiais utilizados: uma lata de metal de formato cilíndrico, farinha de trigo, farinha de mandioca, 2 termopares do tipo DS18B20, suporte de material polimérico, Arduino UNO, cabos de conexão, resistor, tubos de PVC, braçadeiras de plástico, relé, potenciômetro e lâmpada de cerâmica aquecedora de 100 W (infravermelho).

A montagem do experimento final (Figura 1) consistiu em ligar um potenciômetro à lâmpada de cerâmica e à tomada, para que fosse possível controlar a potência recebida pela lâmpada, e, em seguida, um relé foi conectado à lâmpada e ao Arduino, com o intuito de ligar e desligar a fonte de calor incidente na farinha ao atingir a temperatura alvo na superfície (65 °C). Tal temperatura foi escolhida, após

alguns testes serem realizados, para que a amplitude térmica fosse a menor possível, bem como a distância da fonte de calor ao primeiro termopar imerso na farinha, definida como sendo de 10 centímetros. O código para o programa do Arduino foi configurado para registrar os valores de temperatura a cada 2 segundos.

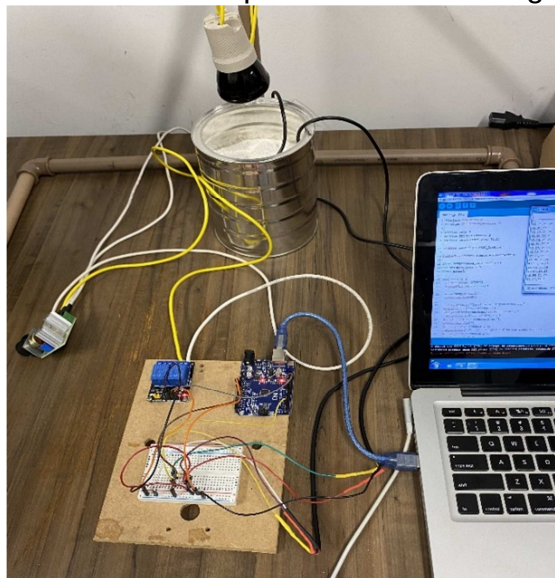


Figura 1 – Montagem final do experimento e coleta de dados.

Resultados e Discussão

Foram feitas 3 repetições do experimento para cada farinha. No momento que o Termopar 1 (T_s) atingiu a temperatura alvo (65°C), a temperatura do Termopar 2 (localizado a 6 cm abaixo da superfície) foi considerada a temperatura inicial (T_i). Esse momento foi considerado o tempo zero. Com esses dados, utilizando a Equação (2), com o auxílio de um programa desenvolvido no software *Scilab*, foram determinados os valores da difusividade térmica das farinhas (Tabela (1)).

Tabela 1: Difusividades térmicas dos farináceos encontradas experimentalmente.

	Farinha de Trigo	Farinha de Mandioca
α (m^2/s)	$2,034 \times 10^{-7}$	$3,089 \times 10^{-7}$
	$2,578 \times 10^{-7}$	$3,772 \times 10^{-7}$
	$2,527 \times 10^{-7}$	$3,699 \times 10^{-7}$
α médio (m^2/s)	$2,380 \times 10^{-7}$	$3,520 \times 10^{-7}$

Os valores obtidos por Mari et al. (2018), para as difusividades térmicas a uma $T(x, t)$ de aproximadamente 40°C foram $7,48 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ e $7,39 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, da farinha de trigo e de mandioca, respectivamente. Não é possível comparar diretamente devido às diferenças nas temperaturas de trabalho, mas ainda se encontram próximas às obtidas neste trabalho. Sanni et al. (2016), analisaram as propriedades térmicas da farinha de mandioca utilizando modelos empíricos, variando a temperatura de secagem, encontraram difusividades térmicas de $4,81 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ e

$3,89 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ para farinha que foi secada a 70°C e 90°C , respectivamente. Esses valores, apesar de obtidos por uma metodologia diferente, apresentaram resultados próximos aos valores obtidos neste experimento. Para a aplicação do método que utiliza modelos de literatura é necessário o conhecimento das composições centesimais dos alimentos, sendo necessárias análises físico-químicas, o que demanda tempo e equipamentos específicos, o método desenvolvido neste trabalho é mais acessível e rápido de ser aplicado.

Conclusões

Com o presente experimento, juntamente com a comparação de dados de literatura, foi possível concluir a eficácia do sistema projetado, atingindo os objetivos pré-definidos, bem como realizar o estudo, de maneira prática, das propriedades térmicas de produtos alimentícios e outros materiais granulados, imprescindível para o setor industrial atualmente. Além disso, esse módulo já está sendo utilizado em aulas práticas no departamento de Engenharia Mecânica da UEM.

Agradecimentos

Agradeço à UEM pela bolsa concedida e aos meus amigos, pais e professores, por todo o suporte, conhecimento e paciência ofertados durante todo esse tempo.

Referências

- BAIRI, A.; LARAQUI, N.; MARIA, J. M. G. de. Determination of thermal diffusivity of foods using 1D Fourier cylindral solution. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n.2, p. 669-675, jan. 2007.
- BETTA, G.; MASSIMILIANO, R.; BARBANTI, D.; MASSINI, R. A quick method for thermal diffusivity estimation: Application to several foods. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 1, p. 34-41, mar. 2009.
- ÇENGEL, Y.; GHAJAR, A. J. **Transferência de calor e massa**, 4.ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.
- MARI, J.; MARI, M.; FERREIRA, M.; CONCEIÇÃO W.A.S.C.; ANDRADE, C. M. G. A simple method to estimate the thermal diffusivity of foods. **Wiley: Journal of Food Process Engineering**, v. 41, n. 6, abr. 2018.
- SANNI, L. A.; OKE, O. O.; OLADIMEJI, F. M.; OGBOZOMIVAZE, K. F. Thermal Properties and Energy Utilization of Cassava Meal in Conductive Rotary Drying. **Science And Education Publishing: American Journal of Food Science and Technology**. v. 4, n.6, p. 160-167. ago. 2016.