

Um resumo sobre a otimização da temperatura na superfície de um corpo de prova no interior da cavidade de um forno.

Orientado Fernando Costa MALHEIROS, fernandomalheiros@gmail.com
Orientador Gilmar GUIMARÃES, gguima@mecanica.ufu.br

Resumo

Este artigo apresenta uma breve revisão sobre distribuição de temperatura em fornos, apresenta uma metodologia para avaliar os processos de troca de calor do forno com os alimentos em seu interior e, também, visa propostas para otimizar a distribuição de temperatura sobre o alimento.

Palavra-Chave: Otimização, Temperatura, Forno.

1 Introdução

A finalidade de um forno doméstico é elevar a temperatura de um alimento até um certo nível e mantê-la em regime. Garantir uma distribuição de temperatura uniforme ao longo da cavidade do forno não garante uma distribuição uniforme da temperatura na superfície do alimento, pois este está sujeito aos efeitos de convecção e radiação térmicas, diferentemente da cavidade que contém apenas ar que é um meio praticamente inerte à radiação. Além disso, o alimento tem geometria irregular, o que provoca coeficientes de convecção natural diferentes ao longo de sua superfície. Então, para uniformizar a temperatura em um alimento é necessário conhecer o fluxo de calor que o atinge, por qual processo esse calor se transferiu e, em seguida, atuar redistribuindo o calor em sua superfície.

2 Revisão

A literatura disponibiliza alguns trabalhos relativos à distribuição de temperatura na cavidade de fornos, como Navaneethakrishnan, Srinivasan & Dhandapani(2008) apresenta resultados da distribuição de temperatura em um forno doméstico através de análise experimental e simulação numérica (CFD). Seu trabalho compara a distribuição de temperatura para três posições diferentes das fontes quentes, na parte inferior, na vertical centralizado e nas paredes laterais. Considera para a simulação em CFD um sistema fechado, negligencia os efeitos de radiação, considera o escoamento laminar e exceto para a densidade, os outros parâmetros não se alteram. Apresenta para cada uma das três disposições das fontes quentes os resultados de temperatura para doze posições no interior do forno e obteve a melhor distribuição quando as fontes quentes estão nas paredes laterais. As temperaturas variaram de 52°C a 75°C nos experimentos e nas simulações as temperaturas diferem entre 5° e 10°C das experimentais.

Bin, Jiangqi & Ruibin(2009) apresenta o campo de temperatura em um forno de flexão de vidro, em intervalos de tempo determinado, através do método dos volumes finitos utilizando o software Fluent. Avalia em seu trabalho os efeitos de convecção e radiação térmica e ao final compara os resultados simulados com

a temperatura experimental que foi medida no centro do vidro (corpo sendo aquecido no forno), encontrando uma erro máximo de 5,5%.

Benthami(2003) realiza em seu trabalho uma simulação numérica pelo método de elementos finitos, em 2D e 3D, na parede de um forno com convecção forçada para os regimes transiente e permanente, avaliando a distribuição de temperatura em sua superfície.

Outros estudos apresentados na literatura avaliam influencia da geometria do forno e da distribuição das fontes quentes na homogeneização da temperatura. Billah *et al.*(2011) apresenta soluções de perfis de temperaturas e linhas de correntes no interior de uma cavidade através de simulação numérica por elementos finitos. As soluções são geradas devido à mudança de posição de um corpo gerador de calor no interior da cavidade. O problema é modelado em 2D e não avalia os efeitos de radiação térmica.

Chopade *et al.*(2011) analisa os efeitos do posicionamento de um corpo 3D no interior de uma cavidade radiante(3D). Realiza diversas simulações com condições térmicas uniformes, com tres diferentes dimensões para o corpo e sempre posicionando o corpo na base da cavidade, sendo que o fluxo de calor nesta face é nulo. Apresenta soluções otimizadas para o posicionamento que gera a melhor distribuição de temperatura na face do corpo. O trabalho considera apenas os efeitos de radiação térmica.

Fan *et al.*(2010) avalia o efeito de diferentes condições no processo de combustão e posição das chamas para um forno em escala de laboratorio com queimadores nas paredes laterais. Mostra os efeitos das configurações sobre a distribuição da temperatura nas paredes do forno e a distribuição do fluxo local de calor para diversos pontos da cavidade. Apresenta resultados experimentais em comparação aos dados obtidos numericamente.

Danon *et al.*(2011) compara efeitos obtidos por simulação numérica e experimentos do posicionamento das chamas de um forno a gás de multiplos queimadores. Avalia a distribuição de temperatura obtida para cada configuração, bem como efeitos de emissão de gases de combustão e a influência de alguns parâmetros no processo, como o tipo de escoamento do gás (laminar ou turbulento).

Como apresentado, não se obtém as respostas de forma objetiva, na literatura, para perguntas propostas propostas abaixo. Qual a contribuição de cada fenômeno, radiação ou convecção, no processo de aquecimento de um alimento? Quanto de calor cada fenômeno deve contribuir para garantir uma temperatura uniforme na superfície do alimento? O que pode ser feito para melhor a distribuição de temperatura ao longo da superfície do alimento?

Este trabalho propõe, assim, responder de forma direta o que deve ser feito para alcançar a principal função de um forno doméstico que é o aquecimento uniforme de uma amostra em regime permanente.

3 Metodologia

Inicialmente deve-se obter qual o fluxo de calor insidente sobre a superfície do corpo para gerar um perfil de temperatura desejado. Isto é um problema inverso cuja solução parte de uma modelagem direta de condução de calor em regime permanente.

$$k\nabla^2 T = 0 \tag{1}$$

A equação governante foi resolvida no modelo direto usando o método das Funções de Green (G33) em cada face do corpo de prova e as soluções do problema inverso foram obtidas pelo método dos algoritmos genéticos, onde a função erro quadrática entre as temperaturas foi utilizada como função objetivo a ser minimizada.

$$S = \sum_{n=1}^6 (T_{desejada} - q_n * G33_n)^2 \quad (2)$$

As propriedades de radiação do corpo de prova e das paredes do forno são conhecidas, sendo assim, a troca de calor por radiação fica dependente das temperaturas das superfícies que serão obtidas experimentalmente e da geometria que é quantificada pelo fator de forma, cuja equação é:

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos \theta_i \cos \theta_j}{\pi R^2} dA_i dA_j \quad (3)$$

As trocas líquidas de calor por convecção são obtidas pelas correlações empíricas de convecção natural sobre placas planas e as temperaturas das superfícies serão obtidas experimentalmente.

$$q_{conv} = \bar{h} A \Delta T \quad (4)$$

onde,

$$\overline{Nu_L} = \frac{\bar{h} L}{k} \quad (5)$$

O experimento será realizado em um forno elétrico doméstico modelo BRASTEMP®BOB61A de dimensões 500x500x500 mm. As temperaturas serão medidas utilizando 32 termopares tipo T, sendo 26 distribuídos nas paredes dos forno e 6 no corpo de prova. O experimento será realizado em 3 níveis de temperatura 100C, 180C e 300C, seguindo a indicação do termostato do forno. Os dados serão coletados a partir do tempo de possível uniformidade de temperatura, segundo instrução do fabricante, que é de 15 minutos. O corpo de prova será posicionado no centro do forno. O corpo de prova tem formato de paralelograma, dimensões 300x450x80 mm e será utilizado um material cerâmico cujo coeficiente de condutividade térmica é $0,5 \left[\frac{W}{mK} \right]$, sendo assim, os efeitos da umidade no processo de assamento dos alimentos será negligenciado.

Em posse dos dados experimentais e dos resultados das trocas de calor, proporemos possíveis melhorias para a homogeneização da temperatura na superfície do corpo de prova.

4 Objetivos e Resultados já Obtidos

O trabalho tem 4 objetivos principais listados abaixo.

- Obtenção de um modelo térmico direto da distribuição de temperatura da superfície de um corpo de prova. Estas temperaturas são influenciadas pelos efeitos de convecção e radiação das paredes do forno que também serão modelados.

- Identificar experimentalmente o comportamento térmico de um forno elétrico doméstico, obtendo as temperaturas das superfícies do corpo de prova e das paredes.
- Avaliar a influência do fluxo de calor por radiação e convecção nas temperaturas das faces do corpo de prova.
- Uma vez construído o modelo direto e obtido dados experimentais do comportamento térmico, propor procedimentos que visem a otimização do forno para obter temperaturas homogêneas no corpo de prova e diminuição do consumo de energia.

Dentre estes objetivos, o modelo térmico direto e inverso, e os dados experimentais do perfil de temperatura do forno vazio já foram obtidos.

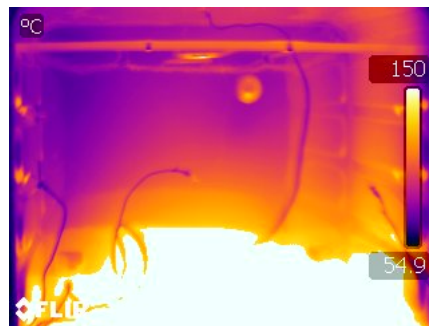


Figura 1: Foto frontal do forno em infravermelho, com fonte quente na base.

Referências

- BENTHAM, A. S. S. La diffusivité thermique et l'homogénéisation de la température dans les problèmes de transfert de chaleur en régime transitoire. In: IEEE. *CCECE - CCGEI*. [S.l.], 2003. p. 525–528.
- BILLAH, M. M. *et al.* Finite element analysis of mhd mixed convection heat transfer enhancement of a heat-generating block in a double lid-driven enclosure filled with air at different vertical location. In: *First conference on clean energy and technology*. [S.l.: s.n.], 2011.
- BIN, W.; JIANG, L.; RUIBIN, C. Thermal field simulation of glass bending oven using finite volume method. *IEEE*, v. 1, p. 547–550, 2009.
- CHOPADE, R. P. *et al.* Effects of locations of a 3-d design object in a 3-d radiant furnace for prescribed uniform thermal conditions. *Applied thermal engineering*, v. 31, p. 3262–3274, 2011.
- DANON, b *et al.* Numerical investigation of burner positioning effects in a multi-burner flameless combustion furnace. *Applied thermal engineering*, v. 31, p. 3885–3896, 2011.
- FAN, Q. *et al.* Experimental study on the heat flux distribution of a laboratory-scale wall-fired furnace. *energy&fuels*, v. 24, p. 5369–5377, 2010.

NAVANEETHAKRISHNAN, P.; SRINIVASAN, P. S. S.; DHANDAPANI, S.
Numerical and experimental investigation of temperature distribution inside a
heating oven. *Journal of food processing and preservation*, v. 34, p. 275–288,
2008.