



### MODELAGEM DA TURBULÊNCIA E DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM FORNOS INDUSTRIAIS

LABORATÓRIO DE  
RADIÇÃO TÉRMICA

Autor: William Ribeiro Barreto; barretowr@gmail.com

Orientador: Francis Henrique Ramos França; frfranca@mecanica.ufrgs.br

#### INTRODUÇÃO

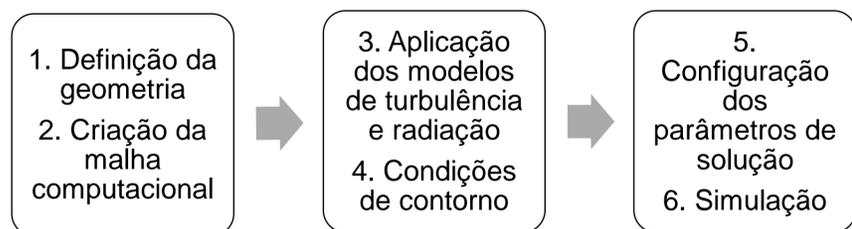
Devido ao desenvolvimento dos setores metalúrgicos e siderúrgicos no Brasil, os fornos industriais de grande escala ganharam importância em estudos científicos, uma vez que o conhecimento de seu comportamento térmico é fundamental para a melhoria das propriedades dos materiais aquecidos e redução dos custos operacionais. Além disso, esses aparelhos possuem complexidade na sua análise, pois há a presença de fenômenos de transporte como a cinética química e transferência de calor envolvidas. Assim, torna-se inviável um estudo com alto grau de refinamento senão com a utilização das ferramentas computacionais.

#### OBJETIVO

Utilizar o software *ANSYS Fluent* para analisar a influência dos modelos de turbulência na transferência de calor convectiva, bem como os métodos de modelagem da radiação térmica. Ao final, comparar os resultados em busca dos modelos mais apropriados para o problema do forno industrial.

#### METODOLOGIA

O diagrama abaixo resume a metodologia aplicada.



As equações fundamentais consideradas nas simulações numéricas foram:

$$\text{Conservação: } \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad (1)$$

$$\text{Quantidade de movimento: } \frac{\partial (\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u u) = -\nabla p + \nabla \tau + \rho g \quad (2)$$

$$\text{Energia: } \frac{\partial (\rho h)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u h) = \nabla \cdot \left( \frac{\lambda}{c_p} \nabla h \right) - \nabla \cdot \left[ \sum_1^{N_k} \left( 1 - \frac{1}{Le_k} \right) \frac{\lambda}{c_p} h_k \nabla Y_k \right] + S_h \quad (3)$$

$$\text{Transferência radiativa: } \frac{\partial I_\eta}{\partial s} = -\kappa_\eta I_\eta + \kappa_\eta I_{b,\eta} \quad (4)$$

#### RESULTADOS

Obtiveram-se resultados de três casos distintos: apenas a transferência de calor convectiva, apenas a transferência de calor radiativa e, por fim, o caso completo.

#### I) Variação dos modelos de turbulência e análise da convecção de calor.

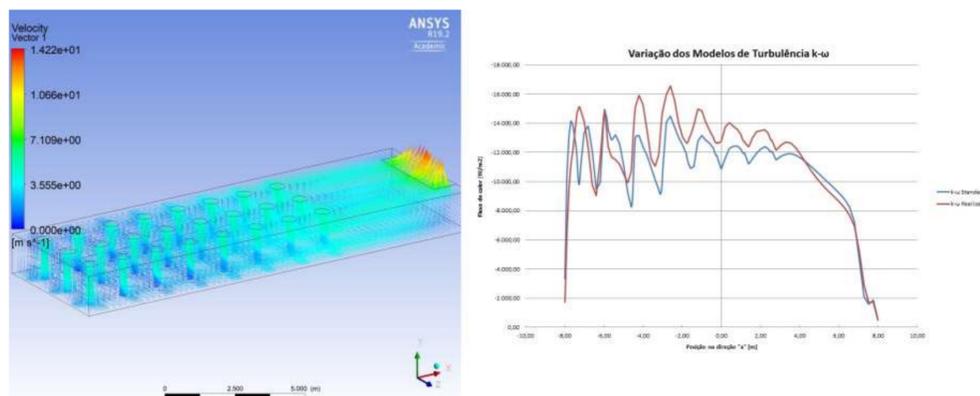


Figura 1 - Esquerda: Campo de velocidades com modelo *k-omega Standard*; Direita: Variação do campo de fluxo de calor no piso do forno ao longo da dimensão "x".

#### II) Variação dos métodos de modelagem da radiação térmica.

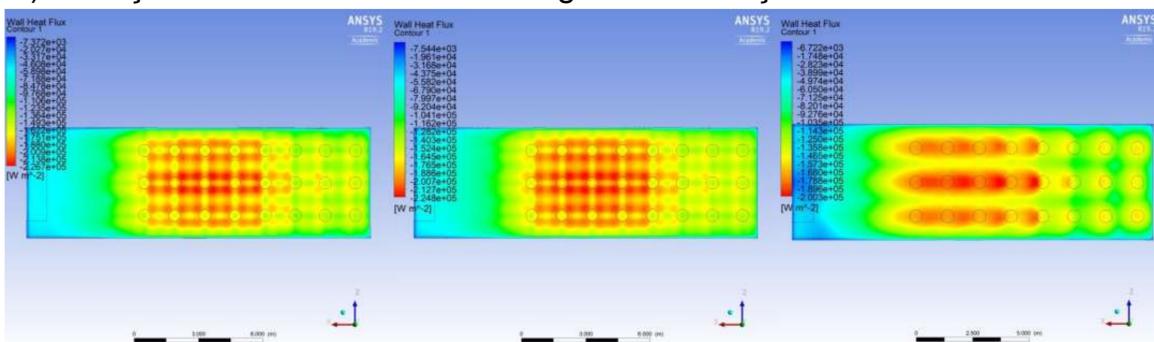


Figura 2 - Campo de fluxo de calor no piso do forno. Esquerda: *WSGG - LRT*; Centro: *WSGG - Fluent*; Direita: *Gás Cinzento - LRT*.

#### III) Utilização do modelo *k-omega Standard* e do *WSGG - LRT*.

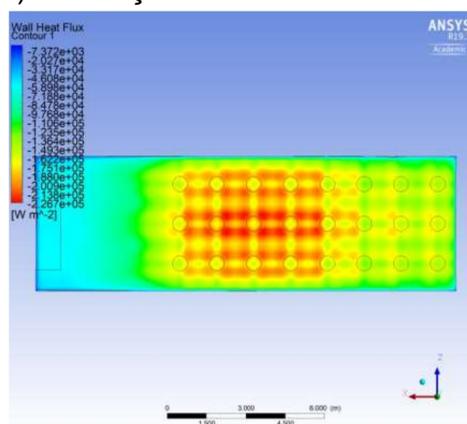


Figura 3 - Campo de fluxo de calor no piso do forno.

A Figura 3 apresenta o fluxo de calor na soleira do forno em uma simulação completa, onde o modelo de turbulência considerado mais apropriado - *k-omega Standard* - foi utilizado, bem como a *User Defined Function*, com o método *WSGG*, produzida no Laboratório de Radiação Térmica (*LRT*). Ambos modelos apresentaram os resultados com maior qualidade.

#### CONCLUSÕES

Notou-se qualidade dos resultados para a variação da turbulência, onde, segundo a literatura, o modelo *k-omega Standard* é o mais apropriado. Para a radiação térmica, o *WSGG* se demonstrou um ótimo modelo para a solução da transferência de calor radiativa.

#### REFERÊNCIAS

- ANSYS: "ANSYS Fluent Theory Guide", ANSYS Inc., Release 13.0, 2010.
- ANSYS: "ANSYS Fluent User Guide", ANSYS Inc., Release 13.0, 2010.
- KICH, R. de M. *Modelo computacional de um forno de reaquecimento de tarugos*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica. 2017.
- Dorigon, L.J.; Duciak, G.; Brittes, R.; Cassol, F.; Galarca, M. França, F.H.R. "WSGG Correlations Based on HITEMP2010 for Computation of Thermal Radiation in Non-Isothermal, Non-Homogeneous H2O/CO2 Mixtures". International Journal of Heat and Mass Transfer, v. 64, pp. 863-873, 2013.