

MODELAGEM DA RADIAÇÃO EM SIMULAÇÕES DE COMBUSTÃO EM REGIME TURBULENTO

Aluno: Bruno Barcellos Pavan
Orientador: Francis Henrique Ramos França

INTRODUÇÃO

O projeto de pesquisa de Iniciação Científica contempla a modelagem da emissão de radiação térmica em chama difusiva turbulenta gerada pela combustão de metano (CH₄) em ar. A radiação é o mecanismo de transferência de calor predominante em muitas aplicações, como em flares para a queima de combustíveis residuais, observados em plataformas de exploração de petróleo e gás, e queimadores não pré-misturados de fornos industriais. Devido a essas importantes aplicações, o correto entendimento do sistema e sua modelagem como um todo é justificada.

PROBLEMA E OBJETIVOS

O objetivo mais geral de todo o estudo feito na bolsa foi propor ao bolsista a experiência de poder lidar com um software comercial de simulação computacional (ANSYS FLUENT) bem como o entendimento de seus modelos propostos e a aplicação dos mesmos em uma situação física real, que no caso proposto é a de modelagem da radiação em simulações de combustão de uma chama livre.

O sistema físico consiste basicamente de um queimador de gás. O queimador é formado por dois cilindros concêntricos e coaxiais: um cilindro interno com 11,11 mm de diâmetro por onde escoia o gás metano puro e um cilindro externo com 101,6 mm de diâmetro onde escoia ar, com a função de envolver e estabilizar a chama. Logo acima, é modelado outro cilindro, representativo do ambiente, com 200 mm de diâmetro e 500 mm de altura.

METODOLOGIA

Simulado numericamente no código comercial ANSYS FLUENT, o fenômeno conhecido como combustão resulta de reações químicas envolvidas em um sistema intrinsecamente complexo com acoplamento de equações. O sistema é composto pelas equações de balanço para a continuidade, quantidade de movimento, energia e fração mássica das espécies químicas envolvidas. Essas equações são fortemente não-lineares e necessitam de técnicas numéricas específicas para encontrar a solução do problema.

EQUAÇÕES FUNDAMENTAIS

CONTINUIDADE:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0$$

QUANTIDADE DE MOVIMENTO:

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) + f_i$$

ENERGIA:

$$\frac{\partial(\rho T)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{k}{c_p} \cdot \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + S$$

RESULTADOS

Tabela 1. Análise GCI sobre a qualidade de malha

Cálculos				
Temperatura	GCI(1,2)t =	-0,00474	X =	0,996871
Temperatura	GCI(2,3)t =	-0,00081		
Velocidade	GCI(1,2)v =	0,002397	X =	1,003599
Velocidade	GCI(2,3)v =	0,006904		

Malhas de 80, 40 e 20 mil elementos numeradas como 1,2 e 3, respectivamente. A análise pelo método GCI sobre convergência de malha apontou a malha de 80 mil elementos suficiente para prosseguir no estudo.

CONTORNO DE VELOCIDADES:

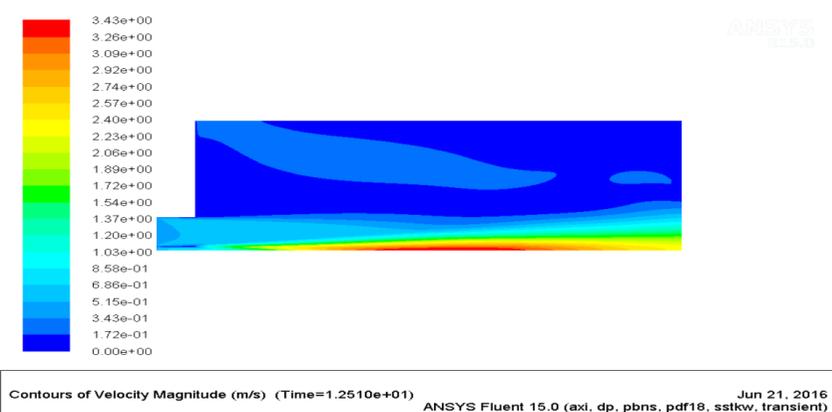


Figura 1. Resultado obtido sobre os contornos de velocidades obtidos para a malha de 80.000 elementos

Observa-se pela Figura 1 que as maiores velocidades dos gases, na faixa de 2,4 até 3,4 m/s encontram-se na região do eixo de simetria, justamente onde acontece a formação da chama pela combustão. Envolvendo esta região, pela lateral e evidenciando a pluma quiescente de gases, encontram-se valores intermediários de velocidade que variam de 1 até 2 m/s, vistas nas cores azul claro e verde.

CONTORNO DE TEMPERATURAS:

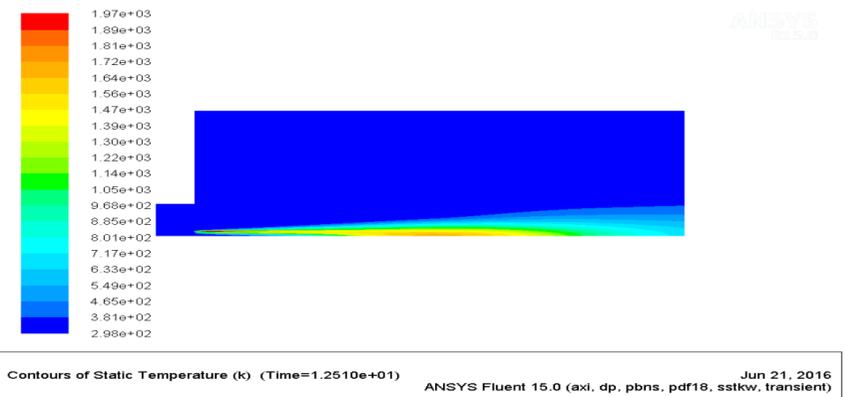


Figura 2. Resultado obtido sobre os contornos de temperaturas obtidos para a malha de 80.000 elementos

É visível que a chama possui um tamanho significativo, da ordem de metade do domínio considerado, visto a relativa alta velocidade de injeção do combustível e do ar paralelo. Também, observa-se que as maiores temperaturas encontram-se localizadas sobre o eixo de simetria, atingindo o valor máximo de 1970 K. É importante frisar que este valor máximo de temperatura está entorno do esperado para a queima do metano, devendo estar situado na ordem de 1800 K, observado em experimentos. Esta aproximação entre o valor obtido e o esperado pode ser justificada pela utilização do modelo de turbulência utilizado, *k-w SST*, que tende a resolver melhor o campo médio de temperaturas.

INTENSIDADE DE RADIAÇÃO EMITIDA:

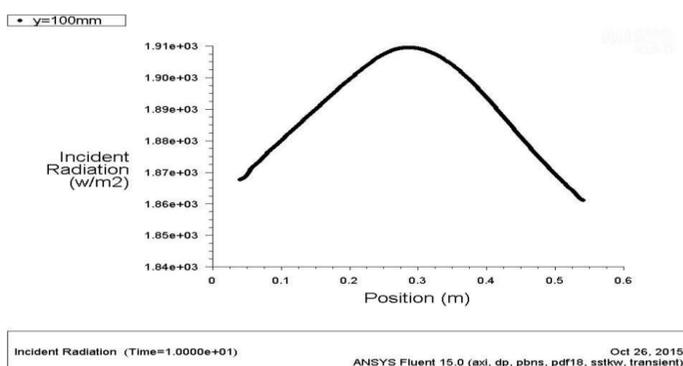


Figura 3. Gráfico da intensidade de radiação emitida pela chama, medida na lateral do domínio afastada 100 mm do eixo para uma malha de 70.000 elementos.

Nota-se o perfil de morro, com um início crescente, atingindo um máximo pouco superior a 1910 W/m² próximo dos 250 mm de altura, tornando-se decrescente e atingindo novamente o valor mínimo inferior a 1860 W/m². Este tipo de comportamento é condizente com dados experimentais, sendo apenas os valores plausíveis de erro. Como a radiação está diretamente ligada ao campo de temperaturas, o uso do modelo de turbulência inadequado afeta o cálculo da temperatura, pois retorna valores inferiores ao ideal, e conseqüentemente, implica em resultados errôneos da intensidade de radiação. Para averiguar tal situação, é necessário um melhor desenvolvimento no modelo de turbulência e na seleção dos parâmetros de utilização do modelo de Ordenadas Discretas (DO), a fim de se confirmar a validade dos valores encontrados. Comparações com medições experimentais também podem ser utilizadas para confirmar a adequação da simulação computacional com a realidade física.

CONCLUSÃO

A começar de um estudo de independência de uma malha computacional, pode-se passar a trabalhar, como sugestão de estudos futuros, no aperfeiçoamento da simulação numérica computacional, dando enfoque ao estudo e comparação de resultados físicos reais quanto ao fluxo radiativo, radiação incidente, que é objeto de estudo principal do laboratório LRT (Laboratório de Radiação Térmica).

Um estudo sobre como o modelo *k-w SST*, modelo de viscosidade disponível no software ANSYS FLUENT, pode afetar outros parâmetros em regime laminar, como campo de temperaturas por exemplo que tem influência direta nos valores absolutos de fluxo radiativo, também fica como proposta de um trabalho a se seguir em outro período de vigência de outra bolsa de IC.