

Análise Numérica de Diferentes Configurações de Chaminé Solar

Vinicius Branzani Leite, Cyro Albuquerque Neto
Engenharia Mecânica, FEI
unievinileite@fei.edu.br, cyroan@fei.edu.br.

Resumo: O presente trabalho trata-se da validação e estudo numérico de uma chaminé solar. Com o uso da ferramenta de simulação numérica *Ansys CFX*, procurou-se validar um ensaio experimental proposto, discutindo a melhor maneira de modelar a análise numérica para este tipo de situação. Seguindo padrões utilizados pela literatura, descobriu-se uma discrepância na curva de velocidades dentro da chaminé, então buscou-se verificar se esse erro vem de fatores externos do experimento, ou se é causado por algum fator na análise numérica.

1. Introdução

Uma chaminé solar construída na parede de um edifício pode ser usada para auxiliar a ventilação ou para aquecimento. A chaminé é feita em uma cavidade que pode estar na parede ou no teto. O ar no interior da cavidade é aquecido pela energia solar, realizando um movimento ascendente devido à convecção natural.

O grupo de estudos do presente projeto realizou nos últimos anos estudos experimentais de chaminé solar com diferentes configurações. Uma das aplicações teve como foco a proposta de um dispositivo para retirar ar da zona superior de um ambiente, incluindo uma outra entrada com uma placa que reduz a seção da chaminé. [1].

Este trabalho buscou a validação numérica desta proposta utilizando a ferramenta CFD (*Computational Fluid Dynamics*), com o programa *Ansys CFX*. Esta ferramenta utiliza o método dos volumes finitos. A geometria é discretizada dentro de um domínio espacial através de uma malha, e em cada volume são feitos balanços de massa, quantidade de movimento e energia [2]. Por si só, essas equações podem descrever o regime turbulento dos escoamentos, porém necessita de uma malha muito refinada para poder capturar os efeitos da camada limite, o que resulta em uma exigência computacional muito elevada para os dias de hoje [3]. Com isso, foram desenvolvidos modelos de turbulência capazes de descrever os efeitos da turbulência no escoamento. Esses modelos são empíricos, e então deve-se investigar o melhor modelo para dada aplicação. Neste trabalho é investigado os modelos RANS (*Reynolds-Average Navier-Stokes*), RNG k- ϵ , k- ω e k- ω SST, modelos mais usados pela comunidade, assim como o modelo de 7 equações SSG Reynolds Stress.

2. Metodologia

Baseando-se na literatura, em especial no trabalho realizado por Gan [4], propõe-se um modelo geométrico bidimensional com dimensão de $(2 \times 0,05)$ m e $(2 \times 0,15)$ m, seguindo uma razão de 1/40 e 15/200 respectivamente. A entrada e a saída são dimensionadas com 50 mm de abertura [3]. Os limites do *farfield* têm

dimensões dez vezes maior que a largura da chaminé. A malha é discretizada em regiões estruturadas dentro da região da chaminé e não estruturadas ao longe, no *farfield*. Um refinamento é localizado na entrada e saída da chaminé a fim de capturar uma melhor resposta do fluxo de ar.

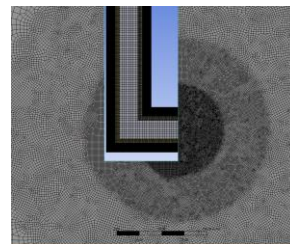


Figura 1 - Detalhamento da malha

Para pequenas variações de temperatura o ar é tido como ideal. A aproximação de *Boussinesq* foi aplicada para incluir as forças de empuxo. O modelo de turbulência utilizado no início foi o RNG-k ϵ , depois foram analisados os modelos k- ω , k- ω SST e SSG *Reynolds stress*. Considera-se um ambiente fechado, onde o ar ascendido pelo calor recircula dentro do domínio. Também foi considerada a radiação emitida pelas paredes. As condições de contorno podem ser vistas na Tabela I.

Tabela I - Condições iniciais das paredes

Parede	Temperatura (°C)	Emissividade
Quente	50	0.09
Isolada	20	0.6
Frio	20	0.85
Ao longe	20	1

As emissividades foram selecionadas a partir dos materiais do ensaio (alumínio, poliestireno expandido e madeira) [5].

Os esquemas de advecção e de turbulência foram iniciados em primeira ordem para adquirir condições iniciais mais próximas do resultado, logo após são mudados para segunda ordem, onde obtém-se valores mais precisos.

Para o critério de convergência são satisfeitos os resíduos médios quadráticos menores que 10^{-5} .

3. Resultados e discussão

Foi realizada uma validação para certificar que os resultados estivessem independentes da malha no domínio. Para isto, é considerado um y^+ próximo de 1, e assim são refinados os elementos ao redor até obter um resultado com erro entre as simulações menor que 2%. A Tabela II mostra os valores do número de elementos e seu erro de cada simulação feita.

Tabela II - Número de elementos e erro percentual

Chaminé	Simulação	nº de elementos	erro%
50mm	1	202043	
	2	281735	0.216%
	3	593543	0.294%
150mm	1	364142	
	2	490982	0.255%
	3	921974	1.532%

Com a malha refinada, é feita então a validação das condições de contorno. Inicialmente, o modelo RNG k- ϵ é utilizado, e demonstra que a temperatura na parede de 50°C não condiz com a realidade, assim há uma desconfiância que os termopares que mediram a temperatura durante o experimento estivessem perdendo calor por radiação e não fora considerada essa variante. Opta-se por elevar a temperatura da parede na simulação para 80°C, satisfazendo os resultados conforme a Figura 2.

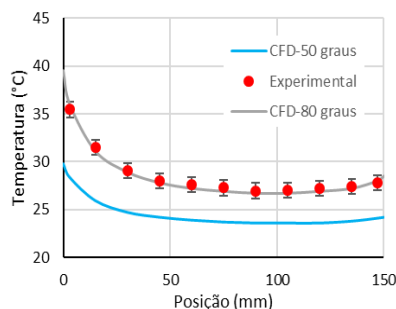


Figura 2 - Resultados em diferentes temperaturas (150mm)

Na sequência foram adquiridos os resultados para os modelos k-w, SST e SSG Reynolds stress, obtendo assim as Figura 3 e Figura 4, para as configurações 50mm e 150mm respectivamente.

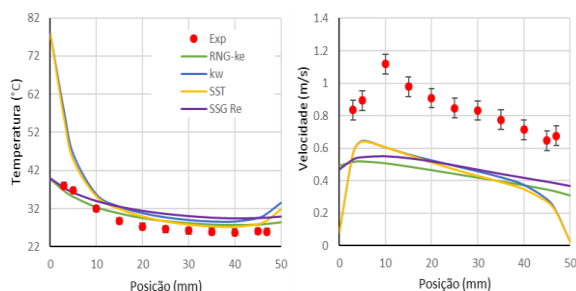


Figura 3 - Curvas de temperatura e velocidade (largura: 50mm)

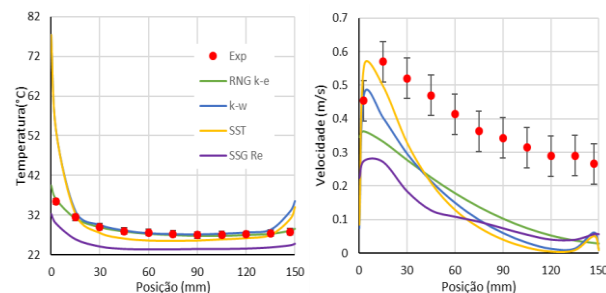


Figura 4 - Curvas de temperatura e velocidade (largura:150mm)

Apesar de bons resultados em relação à temperatura, percebe-se uma certa discrepância nas curvas de velocidade simuladas e a experimental. Também se percebe que o RNG k- ϵ é o mais adequado para esse tipo de análise.

Duas hipóteses são levantadas para justificar essa diferença nas curvas de velocidade: O calor gerado pela resistência durante o ensaio acabou gerando calor fora da chaminé também, gerando um fluxo ascendente e assim influenciando o escoamento na saída da chaminé gerando um empuxo maior. E não é considerado o fator da umidade no caso, o que pode influenciar na transferência de energia do escoamento.

4. Conclusões

Seguindo todos os critérios apresentados tanto na literatura quanto na comunidade, obteve-se bons resultados nas análises. Porém deve-se investigar os possíveis fatores que influenciaram a curva de velocidades durante o experimento ou na simulação. Apesar do modelo SSG ser recomendado pelo manual para simulações que envolvem gravidade, deve-se aplicar com mais critério, pois trata-se de um modelo mais instável e sensível a mudanças transientes.

5. Referências

- [1] VILLAS-BÔAS, T. F. Desenvolvimento de uma chaminé solar com dupla entrada para remoção de ar da zona superior e inferior de ambientes internos. Dissertação (Mestrado) — Engenharia Mecânica, Centro Universitário FEI, São Paulo, 2019.
- [2] ANSYS. ANSYS CFX Solver Theory Guide. 2013.
- [3] ANSYS. ANSYS CFX Solver Modeling Guide. 2011.
- [4] GAN, G. Impact of computational domain on the prediction of buoyancy-driven ven-tilation cooling. Building and Environment, v. 45, n. 5, p. 1173–1183, 2010.
- [5] CONTEMP – Adendo: Tabela de emissividades. Disponível em: <https://www.contemp.com.br/downloads/pdf/Tabela_de_Emissividades.pdf>. Acesso em: 26/09/2020