

# ANÁLISE EM CFD DA COMBUSTÃO CONFINADA DE GÁS DE SÍNTESE EM CONDIÇÕES DE MISTURAS POBRES COM DOPAGEM DE ACETILENO ASSOCIADA À OEC

Mariana Mendes Wilfinger<sup>1</sup>; Alex Álisson Bandeira Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bolsista; Iniciação científica – CNPq; marianawilfinger@gmail.com

<sup>2</sup> Engenheiro Mecânico, Doutor em Energia e Ambiente; Centro Universitário SENAI CIMATEC; Salvador-BA; alex.santos@fieb.org.br

## RESUMO

Apesar de ser um método amplamente utilizado na atualidade e com grande perspectiva de utilização no futuro, a combustão industrial é uma metodologia de geração de energia que apresenta desvantagens, principalmente, no âmbito ambiental, considerando a emissão de gases poluentes. Nessa pesquisa, é feita uma análise sobre a combustão de gás de síntese considerando a eficiência energética da combustão confinada desse gás em condições de misturas pobres utilizando o acetileno associado à técnica da OEC – Oxygen Enhanced Combustion, com o objetivo de atenuar tais efeitos de emissões. O acetileno é utilizado em pequenas quantidades no combustível, pois é apontado em estudos como um importante precursor na formação de fuligem. Nessa pesquisa, é utilizado o software Ansys CFX para realização de uma simulação computacional em CFD (Computational Fluid Dynamics) da combustão, a fim de obter resultados com modelos preliminares buscando auxiliar a obtenção de dados para modelagens futuras.

**PALAVRAS-CHAVE:** CFD, gás de síntese, OEC, combustão.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a combustão de fontes fósseis representa grande parte da fonte de energia em economias industrializadas, e espera-se que continue sendo uma fonte de energia majoritária no futuro previsível, acompanhando a maior demanda de energia, trazendo como consequência o aumento de emissões dos gases do efeito estufa na atmosfera (MEDWELL et al, 2011).<sup>1</sup> Com a necessidade da redução do impacto ambiental da combustão, surge a gaseificação de biomassa, com a produção do gás de síntese – composto basicamente por H<sub>2</sub>, CO e N<sub>2</sub>. Além da reduzida emissão de poluentes (Consequência do encadeamento do ciclo do carbono com o balanço da emissão/absorção do CO<sub>2</sub>), uma grande vantagem da combustão de biomassa na geração de energia é a sua disponibilidade em todo o planeta, ao contrário, por exemplo, do carvão ou gás natural (HEIDENREICH et al., 2015).<sup>2</sup>

Apesar de provocar baixa emissão, a combustão de gás de síntese traz também uma baixa eficiência energética por conta da reduzida propensão à formação de fuligem – material particulado sólido composto basicamente por carbono produzido na combustão. Assim, a fim de aumentar a formação de fuligem na chama, essa pesquisa adota a dopagem de acetileno em pequenas quantidades (1 a 2%) no combustível, já que, segundo Santos (2010),<sup>3</sup> evidências experimentais indicam que o acetileno seja um importante intermediário no processo de formação de fuligem.

A combustão enriquecida com oxigênio (OEC) é utilizada com o intuito de aumentar a quantidade de combustível em contato com o oxigênio, proporcionando maiores chances de uma combustão completa. Com o uso dessa técnica, espera-se aumentar a eficiência energética da combustão, além de gerar um aumento na concentração de fuligem ao longo da chama. Nessa pesquisa, foram utilizadas frações de até 30% de oxigênio no ar, buscando evitar a necessidade de retrofit em equipamentos industriais genéricos para utilização da técnica (BAUKAL, 1998)<sup>4</sup>.

Ainda com o intuito de aumentar o contato do combustível com o ar de combustão, é adotada a utilização da técnica da queima em condição de mistura pobre, em que há um excesso de ar em relação à quantidade de combustível. Para essa análise, foram utilizadas relações entre a razão ar/combustível estequiométrica e real de 1 (condição estequiométrica) e 0,7 (condição de mistura pobre).

De acordo com Riahi (2017),<sup>5</sup> a combustão é um fenômeno complexo que agrega processos físicos e químicos variados, de forma que experimentos nessa área sejam extremamente caros, enquanto a simulação numérica apresenta uma alternativa viável para a previsão do efeito de vários desses parâmetros na chama de combustão. A simulação em CFD será utilizada nessa pesquisa como meio de validação de resultados e obtenção de dados adicionais que não poderiam ser obtidos experimentalmente devido à limitação ferramental. A utilização desse tipo de análise apresenta uma série de vantagens, citadas por Gavira (2003),<sup>6</sup> a exemplo da liberdade na construção do modelo, processo de modelagem progressivo, soluções relativamente rápidas, alta flexibilidade, entre outros.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Modelagem matemática

Para a análise do escoamento durante a combustão foi utilizado o método dos volumes finitos para análise em CFD através do software Ansys CFX. Assim, o escoamento é descrito através das equações da quantidade de movimento (Equações de Navier-Stokes) nas direções x, y e z, conforme descrito pelas equações (1), (2) e (3) a seguir:

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{ grad } u) + S_{Mx} \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{ grad } v) + S_{My} \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{ grad } w) + S_{Mz} \quad (3)$$

Além da equação de continuidade (Conservação da massa) (equação 4).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{u}) = 0 \quad (4)$$

### 2.2 Definição da geometria

As simulações foram realizadas com o intuito de complementar os dados experimentais obtidos previamente com as condições consideradas. Assim, a geometria utilizada para efetivação da malha em CFD foi obtida através da modelagem da câmara já existente, utilizada nos testes iniciais.

As saídas utilizadas para tomada de medições foram consideradas como desprezíveis na simulação, logo, foram consideradas como paredes.

A figura 1 a seguir ilustra a geometria importada no software de simulação, considerando as especificações pré-estabelecidas no projeto do queimador.

Figura 1: Geometria utilizada na simulação.



Fonte: Própria.

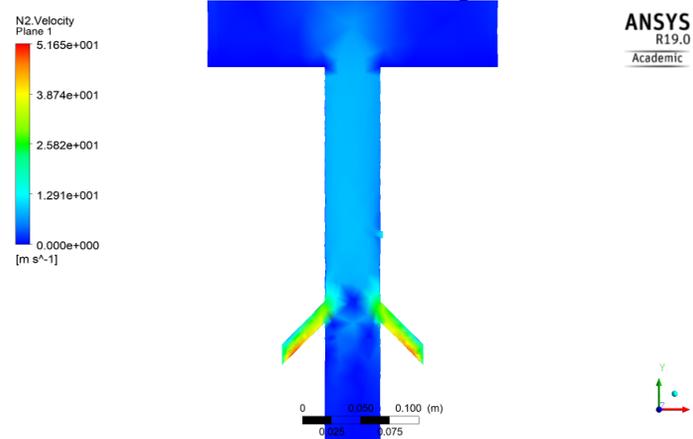
### 2.3 Condições de contorno

As condições de contorno foram definidas com base nos experimentos realizados e a geometria considerada. Logo, foram definidas 4 entradas de ar, pré-misturado com oxigênio, uma entrada de combustível, e uma saída geral. O escoamento foi admitido como turbulento, levando em consideração um Reynolds de 4000, desconsiderando a transferência de calor. Foi definida uma pressão relativa de 0 Pa na saída, e uma velocidade de 8,6 m/s na entrada do combustível, calculada através do número de Reynolds, propriedades do combustível, e diâmetro da entrada de combustível do queimador.

### 3. RESULTADOS

O modelo obtido através da modelagem descrita permitiu a visualização, entre outros parâmetros, da velocidade do escoamento ao longo da câmara. A figura 2 a seguir evidencia a variação da velocidade ao longo da câmara. Para a análise, foi evidenciado o nitrogênio, visto que é o gás de maior concentração no combustível. A partir do resultado é possível inferir que a modelagem é adequada, visto que é apresentado o comportamento esperado, entretanto, é necessário um refinamento da malha utilizada a fim de discretizar os resultados obtidos.

Figura 2: Análise da velocidade do N2 na região de entrada da câmara.



Fonte: Própria.

### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Torna-se evidente, portanto, que essa análise preliminar permitiu desenvolver o modelo inicial relacionado às condições de teste de maneira efetiva, logo, permitindo a aquisição de informações para futuras modelagens e aplicações, a serem comparadas com os resultados experimentais obtidos.

#### Agradecimentos

Agradecimentos ao SENAI CIMATEC e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro e tecnológico no desenvolvimento da pesquisa.

### 5. REFERÊNCIAS

- <sup>1</sup> MEDWELL, Paul R., 2011, “**The influence on the soot distribution within a laminar flame of radiation at fluxes of relevance to concentrated solar radiation**”. *Combustion and Flame*, v. 158, pp. 1814–1821.
- <sup>2</sup> HEIDENREICH, Steffen; Foscolo, Pier Ugo, 2015, “**New concepts in biomass gasification**”. *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 46, pp. 72-95.
- <sup>3</sup> SANTOS, Alex Álisson Bandeira., 2010, “**Investigação do uso da combustão enriquecida com O2 em chamas confinadas de gás natural**”. 247 f. Tese de doutorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- <sup>4</sup> BAUKAL Jr., C.E., 1998, “**Oxygen-Enhanced Combustion**”. 1ª ed. New York: CRC Press, 369 p.
- <sup>5</sup> Riahi, Z., Sautet, J.C., “**Etude numérique de la flamme d’oxycombustion issue d’un brûleur à jets séparés**”, 5ème Conférence Internationale des Energies Renouvelables, 2017, 30, 67-71.
- <sup>6</sup> Gavira, Muriel de Oliveira. “**Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**”, 2003. Dissertação de mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, 2003.