

Modelagem e Validação de uma Termoelétrica movida a Óleo Combustível: Otimização da Combustão com Propagação de Incertezas

Arioston A. Morais Júnior^{a*}, André Ferreira Young^b, George Victor Brigagão^c, Raquel Massad Cavalcante^a

^aPrograma de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos da EQ/UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, Brasi

^bUniversidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro-RJ, Brasil

^cUniversidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro-RJ, Brasil

*arioston@eq.ufrj.br

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento, validação e quantificação de incertezas de um modelo de combustão para uma termoelétrica alimentada a óleo combustível. O modelo é baseado no balanço de massa estequiométrico e estima a composição molar dos gases de pós-combustão, considerando a combustão completa do carbono (C), hidrogênio (H) e enxofre (S) presentes no combustível, além da contribuição dos componentes do ar úmido (O₂, N₂, H₂O, Ar e CO₂). O objetivo principal foi otimizar o coeficiente de excesso de ar (λ) minimizando o erro quadrático entre as previsões do modelo e dados experimentais de composição dos gases. A otimização foi realizada utilizando o algoritmo *fminsearch* (método de Nelder-Mead), resultando em um coeficiente ótimo $\lambda = 1,260$, correspondente a 26,0% de excesso de ar. Para avaliar a robustez do modelo e quantificar a propagação das incertezas de entrada, foi implementada uma simulação de Monte Carlo com 10.000 iterações. Níveis de incerteza foram atribuídos aos principais parâmetros: 5% para carbono e hidrogênio, 10% para enxofre, 2% para vazão de combustível e composição de O₂ no ar, e 3% para o coeficiente λ otimizado. Indicadores estatísticos como média, desvio padrão, intervalos de confiança de 95% e coeficiente de variação foram calculados para cada produto de combustão. O modelo apresentou boa concordância com os dados experimentais, com todos os valores medidos dentro dos intervalos de confiança de 95%. As composições médias obtidas foram: CO₂ (6,83 $\pm$ 0,09%), H₂O (5,98 $\pm$ 0,06%), N₂ (74,70 $\pm$ 0,11%), O₂ (11,29 $\pm$ 0,15%), Ar (0,97 $\pm$ 0,01%) e SO₂ (0,02 $\pm$ 0,002%). A análise do coeficiente de variação revelou que o SO₂ é o componente mais sensível (10%), devido à combinação de sua baixa concentração com a alta incerteza no teor de enxofre do combustível. Em contrapartida, componentes majoritários como N₂ e CO₂ apresentaram baixa variabilidade relativa (<1,3%), indicando a robustez do modelo. Por fim, conclui-se que o modelo proposto representa adequadamente o processo de combustão da termoelétrica, e a análise de incertezas via método de Monte Carlo mostrou-se uma ferramenta eficaz para validar e quantificar a confiabilidade das previsões. A metodologia pode ser estendida para outros combustíveis e condições operacionais, contribuindo para a otimização da eficiência térmica e controle de emissões em sistemas de geração de energia.

Palavras-chave: Termoelétrica; combustão de óleo combustível; otimização do excesso de ar; simulação de Monte Carlo; quantificação de incertezas; modelagem da composição dos gases.