

# ESTUDO DE DIFERENTES MODELOS DE RADIAÇÃO EM UM FORNO DE CRAQUEAMENTO TÉRMICO NA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA SUPERFÍCIE DO REATOR TUBULAR UTILIZANDO A FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL

Tiago da Silva Moreira (1); José Milton de Oliveira Junior (1); José Luís Gomes Marinho (2);  
Regina Ferreira Vianna (1)

(1) Universidade Federal da Bahia; (2) Universidade Federal de Alagoas. E-mail: tiagosmmoreira@gmail.com

**Resumo:** Os fornos de craqueamento térmico tem uma grande importância na cadeia petroquímica, principalmente nos setores da primeira e da segunda geração desse ramo industrial. Setores esses que geram insumos básicos para fibras, resinas, plásticos e produtos químicos. Seu funcionamento é baseado na quebra de grandes hidrocarbonetos, utilizando para isto grandes variações de pressão e temperatura via reação química. Visando uma melhor compreensão deste fenômeno, esse trabalho tem como proposta analisar os modelos de transferência de calor por radiação para o estudo de fluidodinâmica da combustão na seção de radiação de um forno de craqueamento térmico, utilizando o aplicativo computacional ANSYS CFX 13. Foi desenvolvido um modelo 3-D, onde houve a implementação das equações de conservação de massa, movimento e energia em conjunto com a equação de reação de combustão. Os resultados apresentam as distribuições de temperaturas ao longo do reator tubular que está inserido no forno de craqueamento térmico.

**Palavras-chave:** CFD; forno de craqueamento; radiação.

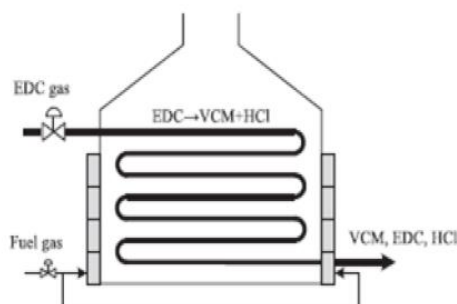
## 1 INTRODUÇÃO

Os grandes fornos a gás têm várias aplicações nas indústrias petroquímicas e indústrias para produção de energia. A mais importante da aplicação na indústria petroquímica é o craqueamento térmico de hidrocarbonetos para produção de olefinas, diolefinas e aromáticos (Habibi et al., 2007).

No craqueamento térmico é utilizado o forno de craqueamento como principal equipamento, com influência na eficiência do rendimento, seletividade para produtos importantes e consumo de energia no equipamento (Qian, 2003).

O processo de craqueamento térmico ou pirólise é a conversão de uma substância em outra por meio do uso de calor, isto é, pelo aquecimento da substância na ausência de ar ou oxigênio a temperaturas que podem chegar a 450°C, como pode ser visto na Figura 1 (Weisz et al., 1979).

**Figura 1** – Processo de pirólise.



Fonte: Panjanpornpon *et al.*, 2012.

O arranjo geométrico para fornos de craqueamento é constituído por uma série de tubos retos dispostos paralelamente e unidos entre si por curvas, mostrado na Figura 2 (Reyniers *et al.*, 1994).

**Figura 2** – Vista interna da seção radiante.



Fonte: Oliveira, 2014.

Os fornos mais modernos apresentam duas seções de aquecimento distintas: a seção radiante que recebe calor diretamente de uma chama e uma seção convectiva que recebe calor dos gases de combustão que fluem através da chaminé (Rajan, 2002).

O processo pelo qual o calor é transferido de um corpo em função de sua temperatura, sem a intervenção de qualquer meio, é chamado de radiação térmica (Kreith, 2003).

Os principais pontos observados nos fornos de pirólise, além da obtenção de altas conversões e a formação de coque no interior das tubulações do reator, é a eficiência da transferência de calor. Isso acarreta alto consumo de combustível que fornece baixo rendimento de conversão no produto. Com isso, a necessidade de parada de operação para desobstrução das tubulações do equipamento gerando impactos na produção, refletindo na receita final da unidade industrial.

Para entender melhor como ocorre o processo de pirólise dentro de uma fornalha de craqueamento térmico, utilizou-se técnicas de Fluidodinâmica Computacional (CFD – Computational Fluid Dynamics) que é um conjunto de ferramentas numéricas e computacionais utilizadas para resolver, visualizar e interpretar a solução das equações de balanço de

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

[www.conepetro.com.br](http://www.conepetro.com.br)

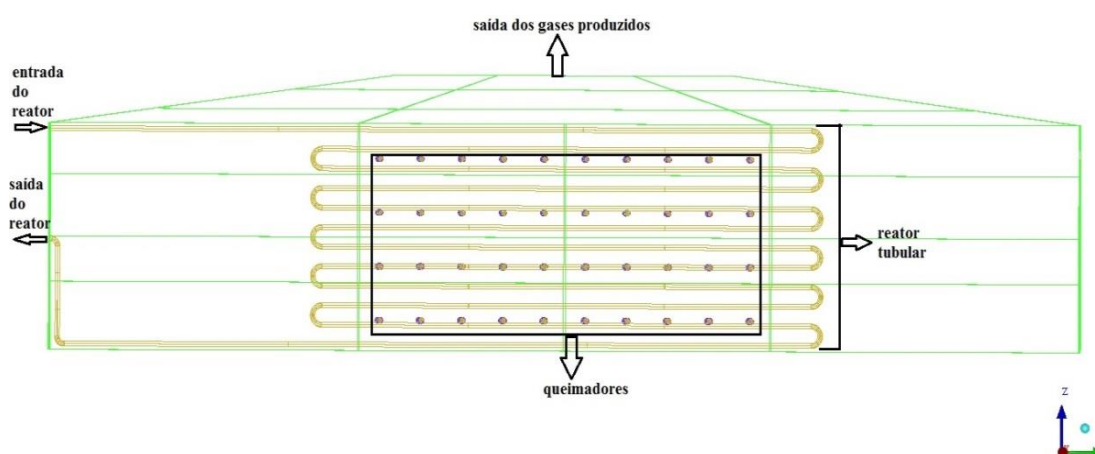
massa, momento e energia, sendo capaz de reproduzir e prever fenômenos físicos e físico-químicos que ocorrem em um dado escoamento. Atualmente, esta recente ferramenta vem sendo cada vez mais difundida em muitas aplicações na indústria química, petroquímica e petróleo e gás.

Este problema é um dos motivos pelo qual se faz necessário a elaboração de uma representação real do forno, que por sua vez servirá de ferramenta de acompanhamento de processo para se buscar o ponto ótimo de operação de uma fornalha de craqueamento térmico. Portanto, é importante analisar os fenômenos que envolvem o equipamento e dando destaque para a transferência de calor por radiação, analisando os diferentes modelos de radiação.

## 2 METODOLOGIA

O estudo foi baseado em um equipamento industrial através das suas medidas de projeto, apenas em sua seção radiante, onde encontra-se 10 queimadores alinhados em 4 fileiras em cada lado do forno. Internamente existe o reator tubular, onde sua entrada de produto se dá pelo topo e sua saída na base do equipamento, fazendo curvas na tubulação do reator, representado na Figura 3.

**Figura 3** – Configuração da câmara de radiação do forno em uma vista lateral.



A malha utilizada foi não-estruturada com o formato tetraédrico por ter uma melhor adequação nas superfícies não uniformes e também por não demandar um esforço computacional grande (Çencel e Cimbala, 2012). O número total de elementos gerados foram de 6.217.106.

Na modelagem proposta para o presente estudo foram utilizadas as equações de massa, quantidade de movimento e energia, estado de simulação estacionário, efeitos gravitacionais, de turbulência, coordenadas cartesianas e propriedades dos fluidos constantes e também considerando os seguintes fenômenos: reação química de combustão através do modelo Eddy Dissipation e o modelo de turbulência k- $\epsilon$ . Nesta modelagem foi adotado um modelo de mistura utilizando a formulação Euleriana-Euleriana. Para o fenômeno de transferência de calor por radiação foi adotado quatro modelos de aproximação para solução do estudo de CFD, que são: modelo P-1, modelo Rosseland, modelo DTM (Discrete Transfer Model) e modelo Monte Carlo, mostrado (ANSYS, 2013).

Na simulação foi utilizado como gás combustível o metano e como oxidante o ar. Os dados

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

[www.conepetro.com.br](http://www.conepetro.com.br)

foram utilizados do banco de dados do ANSYS<sup>®</sup>, como mostra na Tabela 1.

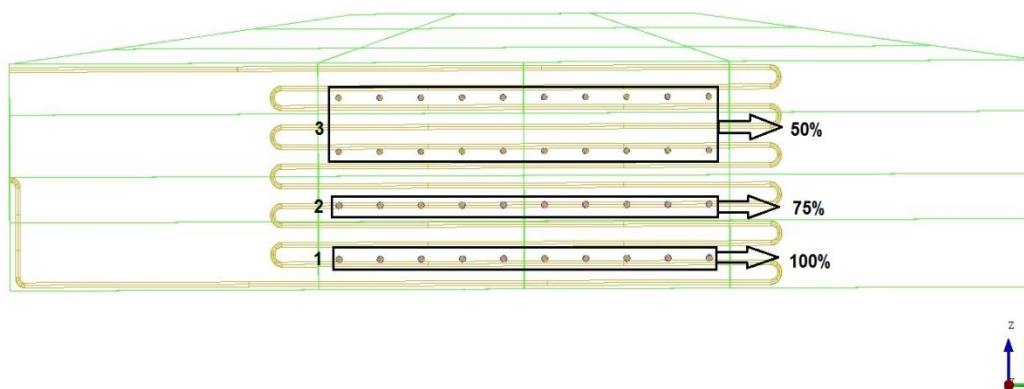
**Tabela 1** – Propriedades das substâncias.

	Metano	Ar
<b>Fração Mássica</b>	1,0	0,232 (O <sub>2</sub> )
<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>	0,656	1,185

As condições iniciais de operação foram obtidas industrialmente através das condições de projeto e operação do equipamento em estudo, onde há diferentes valores em seus queimadores de acordo com a sua posição de fileira que se encontra e lembrando sempre de ter um excesso de ar de 15% em seus queimadores.

Na Figura 4 representa a porcentagem de potência para cada fileira de queimadores do forno de craqueamento térmico.

**Figura 4** – Porcentagem das potências de cada fileira de queimadores.



O regime estacionário foi adotado para as realizações das simulações e com as seguintes condições de contorno iniciais, Tabela 2 e Tabela 3.

**Tabela 2** - Condições iniciais da velocidade de metano.

Fileira	Valor de metano (m/s)	Valor de ar (m/s)
1 <sup>a</sup>	50,00	57,50
2 <sup>a</sup>	37,50	43,13
3 <sup>a</sup>	25,00	28,75

**Tabela 3:** Condições iniciais do sistema.

Condição	Valor
Pressão de saída (atm)	0,009
Temperatura do metano (K)	300
Temperatura do ar (K)	300

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O pacote computacional comercial ANSYS CFX, versão 13.0, foi utilizado para a realização das simulações em um computador com

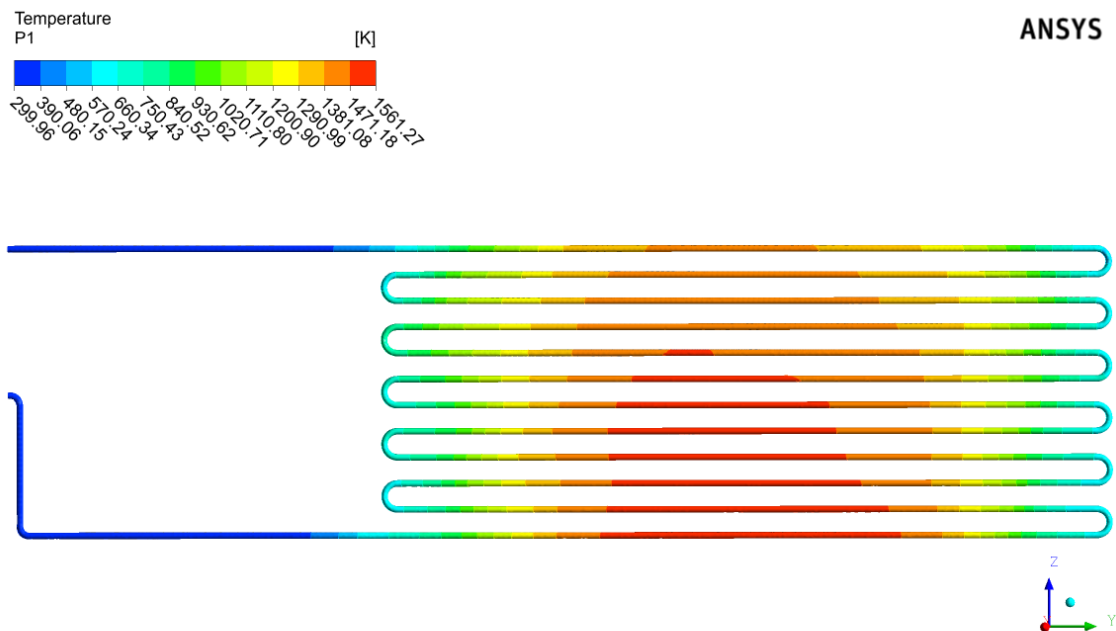
(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

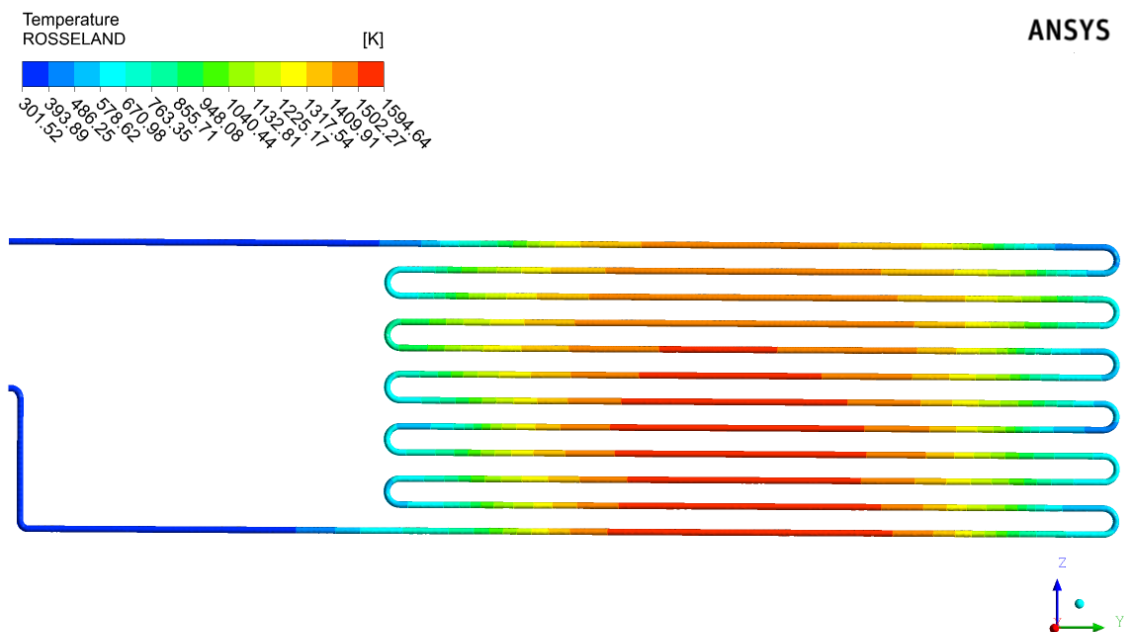
[www.conepetro.com.br](http://www.conepetro.com.br)

configuração básica de processador de 4 núcleos de 3,60 GHz da Intel (i7) e memória RAM de 8 Gb.

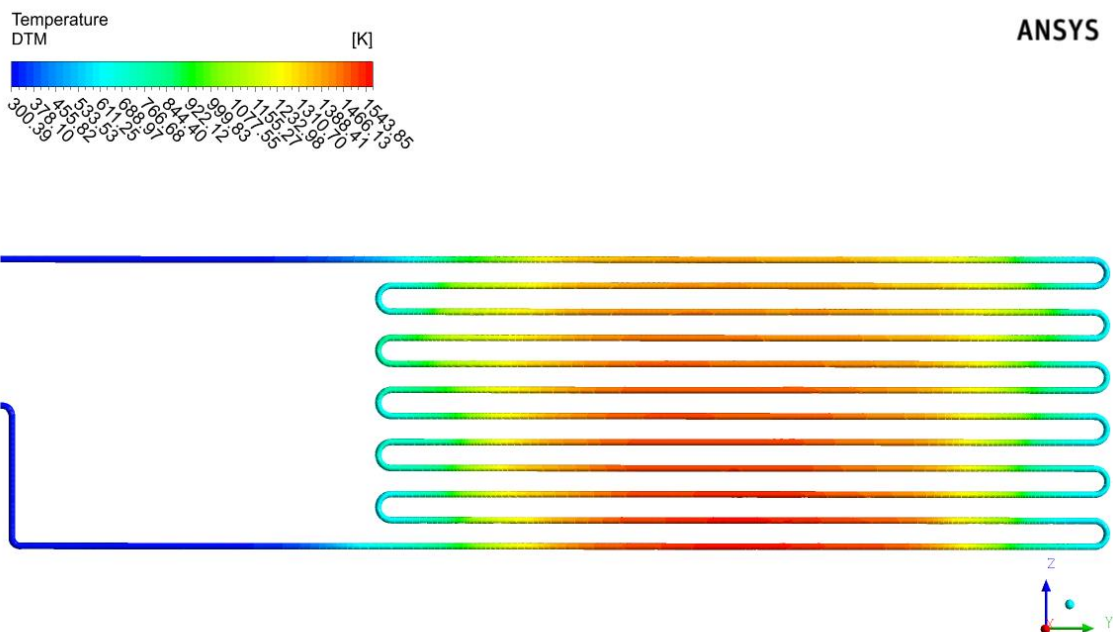
**Figura 5** – Distribuição de temperatura ao longo do reator tubular através do modelo P-1.



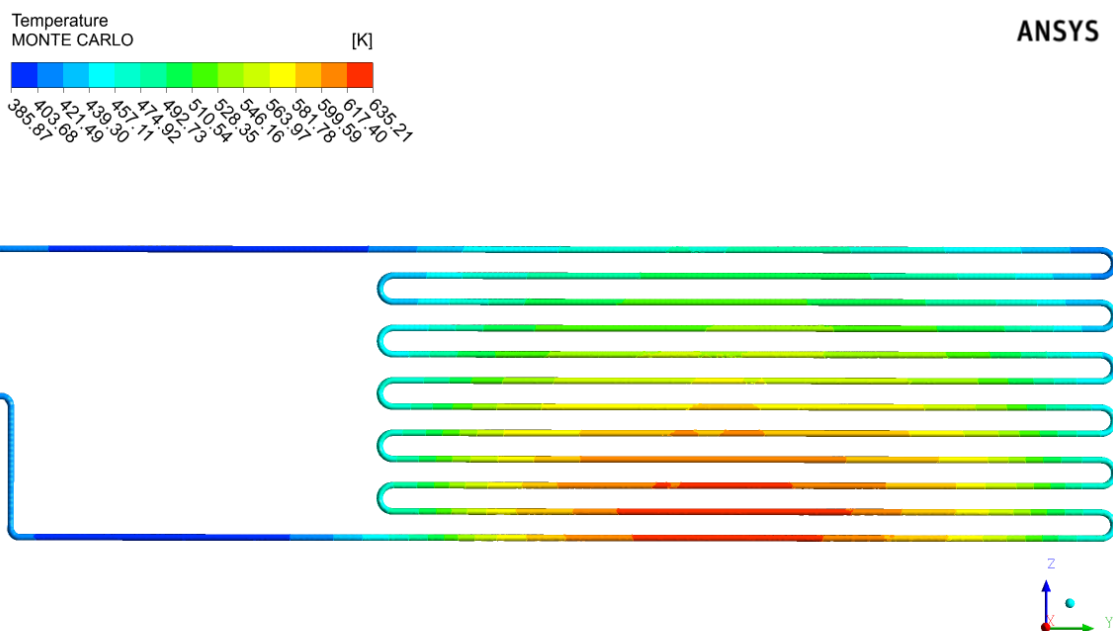
**Figura 6** – Distribuição de temperatura ao longo do reator tubular através do modelo Rosseland.



**Figura 7** – Distribuição de temperatura ao longo do reator tubular através do modelo DTM.



**Figura 8** – Distribuição de temperatura ao longo do reator tubular através do modelo Monte Carlo.



Nas Figura 5 e Figura 7 é possível observar a uniformidade em sua variação de temperatura, onde o centro do reator encontra-se com maiores temperaturas e à medida que se aproxima de suas extremidades, a temperatura diminui, devido aos queimadores se encontrarem no centro do forno, fazendo com que o a temperatura central fique elevada e suas extremidades fiquem com as temperaturas menores. Já para a Figura 6 existem variações de temperatura,



principalmente em suas extremidades, ocasionando diferenças de temperaturas dos modelos P-1 e DTM e para a Figura 8, não há uma uniformidade em seu centro, ocasionando pouca elevação de temperatura, fazendo com que o forno não fique eficiente através desse modelo, Monte Carlo.

#### 4 CONCLUSÕES

As análises fluidodinâmicas do forno de craqueamento térmico foram fundamentais para visualizar e quantificar a distribuição de temperatura ao longo do reator tubular que está inserido no equipamento em estudo, onde se podem observar a variável temperatura que é de extrema importância para conversão das reações deste equipamento. Mediante disso, foi possível observar que os modelos de radiação que obtiveram similaridades foram os modelos P-1 e DTM. Já o modelo Rosselend obteve pequenas variações nas suas extremidades e o modelo Monte Carlo não teve a eficiência desejada com relação aos outros modelos estudados.

#### 5 REFERÊNCIAS

- ANSYS, **CFX-Solver Theory Guide**, ANSYS Inc., Canonsbourg, PA, USA, 2013.
- Çengel, Y. A.; Cimabala, J. M.. **Mecânica dos Fluidos: Fundamentos e Aplicações**, AMGH Editora, 1ª Ed., 2012
- Habibi, A.; Merci, B.; Heynderickx, G. J.. **Impact of radiation in CFD simulations of steam cracking furnaces**. Computers & Chemical Engineering, v 31, p. 1389 – 1406, 2007.
- Kreith, F.; Bohn, M. **Princípios de Transferência de Calor**, Thomson Learning, São Paulo, 2003.
- Qian, J. L.. **Tubular Heating Furnace**, China Petrochemical Press, Beijing, 2003.
- Rajan, G. G.. **Optimizing Energy Efficiencies in Industry**, USA: McGraw Hill, p. 12-13, 2002.
- Reyniers, G. C.; Froment, G. C.; Kopinke, F. D.; Zimmermann, G.. **Coke formation in the thermal cracking of hydrocarbons 4. Modeling of Coke Formation in Naphtha Cracking**. Industrial and Engineering Chemistry Research, v.33, p. 2584-2590, 1994.
- Weisz, P. B.; Haag, W. O.; Rodewald, P. G.. **Catalytic production of high-grade fuel (gasoline) from biomass compounds by shape-selective catalysis**. Science, 1979.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à CNPq pelo apoio financeiro e ao Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos (LASSOP – UFAL) por todo suporte fornecido para a execução deste trabalho.