

SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DO CONTROLE DE AR DE UM AQUECEDOR POR FLUIDO TÉRMICO

Nicolas A. L. M. Luna^{1*}, Ronaldo D. F. Junior¹, Pedro E. M. Santos², Miguel L. Oliveira³, Luciano A. P. Vieira⁴, Luiz Lima⁵, Sergio Lucena⁶, Rony G. Melo⁷

1. Pesquisador de Engenharia Química – CTG-UFPE
2. Mestrando em Tecnologias Energéticas e Nucleares – DEN-UFPE
3. Gerente de Manutenção e Engenharia
4. Gerente de Operações
5. Engenheiro de Processos e Utilidades
6. Professor do Departamento de Engenharia Química-CTG-UFPE/Orientador
7. Professor do Instituto Federal de Pernambuco – Campus Recife/Orientador

Resumo

Um dos principais objetivos no controle de fornos industriais é manter o excesso de oxigênio nos gases de combustão em um valor ótimo, satisfazendo condições de segurança e mantendo um baixo custo. Nessa operação deve-se assegurar um monitoramento constante para segurança e produção eficiente, aliado a manutenções e ajustes no processo. Este trabalho avaliou o desempenho de uma unidade industrial de aquecimento do ramo petroquímico por meio da análise de dados e construção de um modelo de simulação no software comercial *Aspen Plus*®. Apresentando, por final, uma simulação validada do sistema de aquecimento e um ajuste ótimo do excesso de ar na relação ar/combustível.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Combustão; Eficiência.

Introdução

As indústrias Brasileiras buscam, no presente momento, introduzir em suas plantas as novas tecnologias decorrentes da quarta revolução industrial. O termo *Big Data* é um conceito que faz referência ao manuseio de dados em sua quantidade massiva. Os dados se tornaram um dos ativos mais valiosos atualmente. Eles são coletados em tempo real e armazenados. Esses dados são analisados e transformados, através de ferramentas de *Data Analytics*, em informações relevantes que conduzem a uma produção mais eficiente nas indústrias [1].

As caldeiras são um dos principais equipamentos para o fornecimento de energia por meio da combustão para o funcionamento da maioria das indústrias. Para controlar a combustão deve-se controlar a quantidade de combustível e ar que alimentam a caldeira. No controle da combustão é fundamental que não haja nem falta nem excesso demais de ar. Existindo quantidade excessiva de ar, a energia é perdida pelos gases quentes sucedendo-se do resfriamento da caldeira. Se houver falta de ar, como resultado, haverá a queima incompleta e o combustível poderá sair pelo exaustor, apresentando uma baixa eficiência [2].

A eficiência de um aquecedor está assegurada quando se opera na margem de produção em que ele foi projetado. Contudo, frequentemente, os índices de produção nesse tipo de indústria são desregulados em relação ao que foi projetado. Sendo assim acabam por apresentar baixo rendimento em seu sistema energético. Um desses fatores pode ser a falta de otimização do controle de combustão referente ao excesso de ar que entra na caldeira [3].

O propósito deste trabalho é analisar o desempenho do controle de combustão de um aquecedor por fluido térmico e apresentar uma correção ótima do excesso de ar para o controle de combustão atual, baseando-se nos dados coletados da indústria e atribuídos numa modelagem desenvolvida no software de simulação *Aspen Plus*®.

Metodologia

O presente trabalho foi executado no Laboratório de Controle Avançado e Otimização de Processos Químicos - LACO/UFPE a equipe foi composta por professores e pesquisadores da própria UFPE, instituições parceiras: IFPE e profissionais da indústria.

Para realização do trabalho foi definida uma estratégia que consistiu nos seguintes procedimentos expostos na Figura 1.

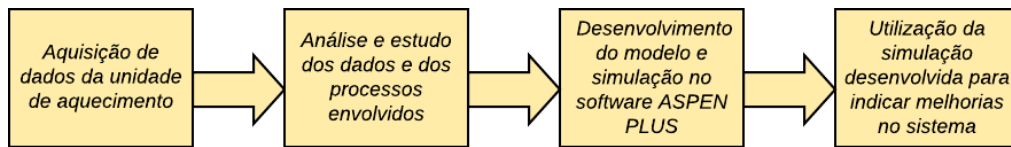


Figura 1: Fluxograma demonstrando a metodologia utilizada

O levantamento de dados da unidade de aquecimento foi através de visitas técnicas a fábrica, reuniões com engenheiros responsáveis e acesso via internet ao banco de dados que constam as medidas, em função do tempo, das variáveis do processo. Dada a grande quantidade de variáveis envolvidas no sistema, foi selecionado um conjunto de variáveis importantes para avaliação e desenvolvimento da ferramenta de simulação da unidade de aquecimento, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Principais dados coletados no processo de aquecimento

Variáveis do Processo	
Temperatura do Fluido Térmico na Entrada	Temperatura do Gás Natural
Temperatura do Fluido Térmico na Saída	Pressão do Gás natural
Vazão de Fluido Térmico	Pressão do Aquecedor
Pressão do Fluido Térmico	Temperatura do Aquecedor
Vazão de Ar	Porcentagem de O ₂ nos Gases de Combustão
Temperatura do Ar	Composição do Gás Natural
Pressão do Ar	Composição do Fluido Térmico
Vazão de Gás Natural	Composição do Ar

Para a elaboração da simulação foram utilizados blocos de modelagem no *Aspen Plus*®: a nomenclatura dos blocos pelo próprio *Aspen Plus*®, a identificação no fluxograma e sua função constam na Tabela 2.

Tabela 2: Nomenclatura, identificação e descrição dos blocos utilizados no Aspen Plus

Nomenclatura	ID do Bloco	Descrição - Função
RSTOIC	CALDE1	Unidade de combustão – Reação: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
HEATER	CALDE2	Trocador de calor – Transfere calor para o fluido térmico
PUMP	BOMBA	Bomba - Mudança de pressão

A Figura 2 mostra o fluxograma que foi definido para a simulação. Utilizando os blocos da Tabela 2. Os valores médios das variáveis são atribuídos na configuração de cada bloco. Como forma de emular o aquecedor industrial são utilizados em conjunto os blocos de identificação *CALDE1* e *CALDE2*.

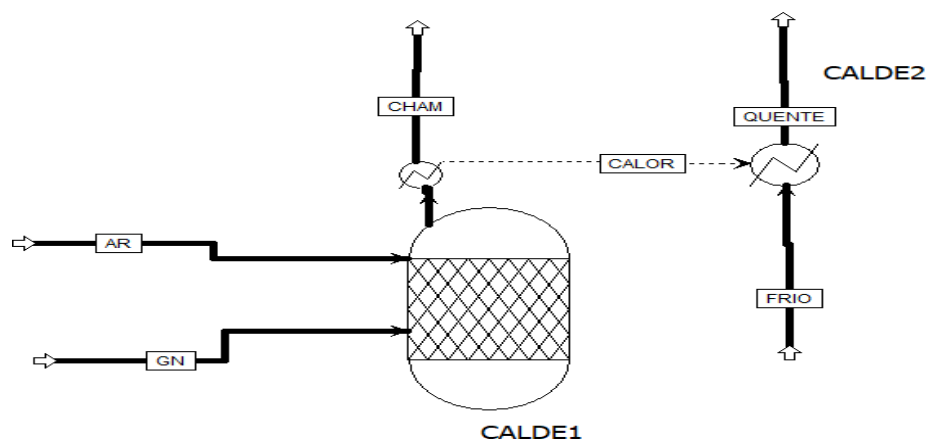


Figura 2: Fluxograma da simulação do processo de aquecimento de fluido térmico no Aspen Plus

Gás natural é o combustível que alimenta a fornalha pela corrente *GN* e reage com o fluxo de ar que entra pela corrente *AR*, gerando reações de combustão. Por conseguinte, o calor gerado é transferido ao fluido pela corrente *CALOR*, elevando a temperatura da corrente *FRIO* para a *QUENTE* que contém o fluido térmico. A corrente *QUENTE* posteriormente, atende as demandas energéticas dos processos da fábrica, transferindo seu calor. Por fim, os gases de combustão saem pelo exaustor através da corrente *CHAM*.

Para análise do desempenho do controlador, calculou-se o ar em excesso utilizado na fábrica para

manter uma razão ar/combustível sem queima incompleta. Já o excesso de ar pode ser calculado por:

$$Ar_{EXCESSO} = \frac{(\dot{m}_{AR-REAL} - \dot{m}_{AR-TEÓRICO})}{\dot{m}_{AR-TEÓRICO}} \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:

$\dot{m}_{AR-REAL}$: Massa de ar utilizada para combustão (Kg/h)

$\dot{m}_{AR-TEÓRICO}$: Massa de ar calculada por estequiometria (Kg/h)

Resultados e Discussão

Inicialmente é fundamental que o modelo seja validado, comparando-se os dados reais com os resultados obtidos através dos modelos de simulação. Para validar a simulação da unidade de aquecimento compara-se dados da fábrica com dados de saída da simulação, já que são dados que não podem ser atribuídos na configuração inicial do modelo, como por exemplo a temperatura de saída do fluido térmico da caldeira. A Tabela 3 compara os valores de variáveis da fábrica e da simulação.

Tabela 3: Comparação dos valores reais e simulados de variáveis do processo

Nome da variável	Valor real	Valor simulado
Temperatura do fluido térmico - Saída	360 °C	359,6 °C
Porcentagem de oxigênio nos gases de combustão	2,5 %	2,6 %
Pressão no aquecedor	11 Bar	11 Bar

A Tabela 3 indica a validação da simulação quando comparados com os dados reais, apresentando grande precisão dos resultados. Para analisar o desempenho do controle de combustão da unidade de aquecimento deve-se relacionar diferentes fluxos de gás natural e ar que entram na fornalha, que obedecem a uma razão combustível/ar imposta pelo controlador automático do processo. A Figura 3 mostra a um gráfico Gás natural versus Ar com 700 pontos, coletados em um mês de operação.

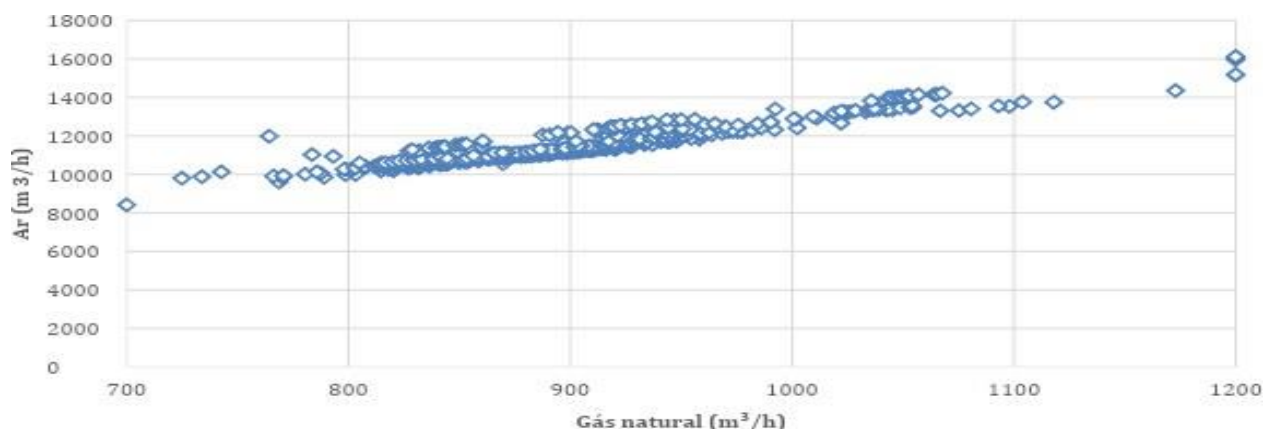


Figura 3: Dados retirados do software supervisor da planta industrial: Gráfico do ar versus gás natural, na combustão da caldeira

A Figura 3 exibe uma tendência linear ($R^2 = 0,89$) entre os dados de gás natural e ar de acordo com a relação estabelecida de controle na combustão da caldeira.

A malha de controle automático presente na fábrica é do tipo limite cruzado, onde o analisador de oxigênio presente no exaustor detecta nos gases de combustão a quantidade de oxigênio presente, de forma a ajustar o excesso de ar no fluxo de entrada do aquecedor. Baseando-se nos fluxos de ar e combustível e na estequiometria da reação do metano, calcula-se o excesso de ar.

A Tabela 4 apresenta: quantidade de oxigênio nos gases de combustão em porcentagem, relação linear entre combustível e ar da Figura 3 e também o excesso de ar calculado com base na equação 1.

Tabela 4: Descrição dos principais parâmetros de controle de combustão utilizados na fábrica

Quantidade de oxigênio nos gases de combustão (%)	Relação linear entre Ar e Gás natural	Excesso de ar (%)
2,5	$y = 11,861 \cdot x + 767,58$	20

Através da simulação computacional como plataforma de testes para uma possível melhoria no sistema, realiza-se 10 simulações variando o excesso de ar.

A Figura 4 mostra as frações mássicas de CO_2 e O_2 nos gases de combustão em função do excesso de ar na entrada da caldeira. A Figura 5 mostra o calor gerado da combustão em função do excesso de ar.

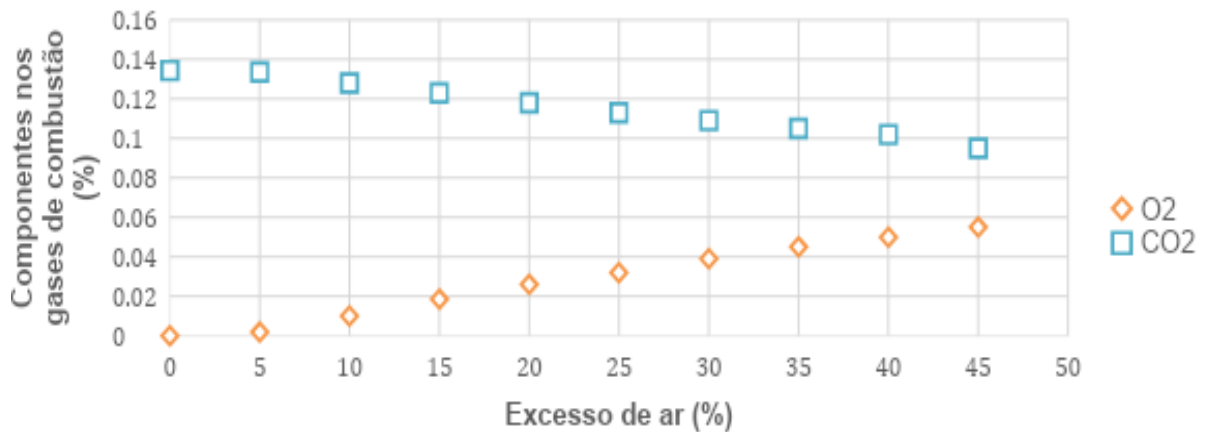


Figura 4: Oxigênio e dióxido de carbono em porcentagem nos gases de combustão em função do excesso de ar na entrada, de acordo com a simulação

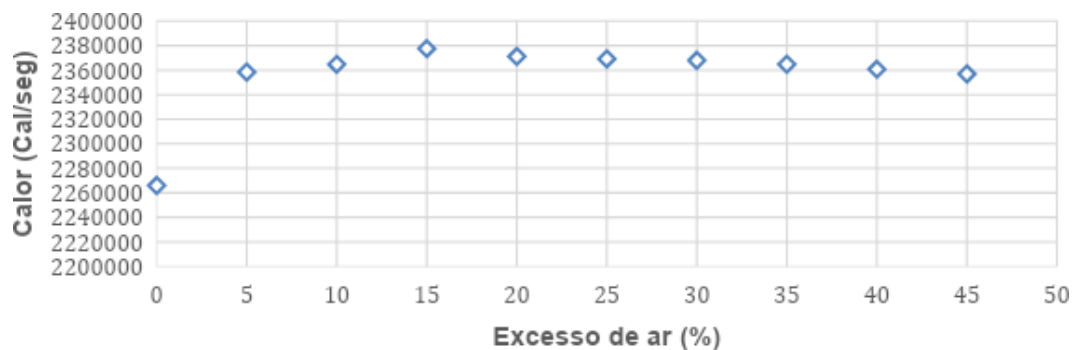


Figura 5: Calor gerado na caldeira em função do excesso de ar, de acordo com a simulação

Ao analisar a Figura 4 em paralelo com a Figura 5, é visto que a entrada do excesso de ar na combustão possui um valor ótimo nesse sistema na faixa de 10-20%, já que mais calor foi gerado. Para 0% de excesso de ar o calor gerado corresponde ao de menor valor, conforme a Figura 5, pressupõe-se que houve queima incompleta e perda de combustível. Para um excesso de 40-45% foi observado que o calor gerado começa a diminuir, havendo um provável resfriamento do sistema. Aquecedores que utilizam gás natural em sua maioria apresentam ótima eficiência e segurança na combustão com excesso de ar de 10% [4].

Conclusões

Através da coleta e estudo dos dados da unidade de aquecimento, foi possível identificar melhorias que poderiam ser executadas, demonstrando a importância atual do armazenamento e análise dos dados para as indústrias.

A utilização do simulador *Aspen Plus*[®] mostrou-se uma forte ferramenta, como plataforma de testes de um processo real. Pelos resultados alcançados, foi visto que a diminuição do excesso de ar na combustão para uma faixa de 10-15% de operação pode gerar uma maior eficiência do sistema de aquecimento da fábrica, já que implica que mais energia está sendo gerada e transferida para o fluido térmico.

Referências bibliográficas

- [1] Lima, A. G.; Pinto, G. S. Indústria 4.0. Revista Interface Tecnológica, v. 16, n. 2, p. 299-311, 21 dez. 2019.
- [2] Chen, D.; Wang, Y.; Li, H.; Guo, S.; Deng, Bo. Studies on Automated Combustion Control System Based on Oxygen Content for Gas-Fired Boilers with Applications (2020).
- [3] Jouhara, H.; Khordehgah, N.; Almahmoud, S.; Delpech, B.; Chauhan, A.; Tassou, S. Waste Heat Recovery Technologies and Applications. Thermal Science and Engineering Progress (2018).
- [4] US DEPARTMENT OF ENERGY. Energy Efficiency & Renewable Energy: Improve Your Boiler's Combustion Efficiency. <Manufacturing.energy.gov>. Data de acesso: 01 de março de 2020.