

---

## **P36, Uso eficiente de gás natural em fogões. Ciclo 2007/2008.**

Renato Vergnhanini Filho

COMGÁS - Companhia de Gás de São Paulo  
IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica – Laboratório de Engenharia Térmica

**Resumo** – Foi realizado um trabalho teórico-experimental no qual foram desenvolvidos e testados dispositivos e meios para aumentar a eficiência de transferência de calor de chamas de fogões industriais para recipientes de cocção. A combinação dos dispositivos desenvolvidos permitiu aumentar essa eficiência de valores típicos ao redor de 53 % para valores ao redor de 63 %, o que representa aumento de aproximadamente 20 %.

Palavras-chave: combustão de gás natural em fogões; eficiência de fogões.

### **Introdução - Objetivo do projeto**

Embora a arquitetura dos fogões domésticos tenha evoluído consideravelmente nas últimas duas décadas, a parte relativa a queimadores teve muito pouca evolução - a eficiência de transferência de calor entre a chama e o recipiente a aquecer permanece muito baixa.

A chama se desenvolve sob o fundo do recipiente e os gases de combustão provenientes dela, ao entrarem na parte de escoamento vertical em torno da parte cilíndrica do recipiente, se misturam a quantidade considerável de ar frio, o que diminui o potencial para troca de calor com a superfície deste.

Esta redução decorre não somente pela redução da temperatura dos gases, mas também pela redução dos seus teores de CO<sub>2</sub> e vapor de água, o que reduz adicionalmente a emissividade desses gases. Além disso, a superfície lateral do recipiente, ao mesmo tempo em que recebe calor dos gases, perde calor por radiação para o meio, o que reduz ainda mais a eficiência do processo de aquecimento.

É possível imaginar a possibilidade de adoção de uma blindagem à radiação, envolvendo o recipiente, de forma que os gases de combustão escoem no espaço anular entre a superfície externa do recipiente e a superfície interna da blindagem, com as seguintes consequências:

- redução para cerca de metade das perdas por radiação da superfície do recipiente para o meio;
- aumento da potência transferida por convecção dos gases para a superfície lateral do recipiente em razão do aumento da temperatura média destes e
- aparecimento de um mecanismo adicional de transferência de calor: radiação da superfície da blindagem para a superfície do recipiente.

Dentro desse contexto, o presente projeto teve como objetivo principal desenvolver, construir e testar blindagens para fogões domésticos e industriais (dispositivos totalmente independentes da estrutura do fogão, a serem colocados como acessórios) que aumentem a transferência de calor da chama para os recipientes a aquecer: caldeirões, caçarolas canecas etc.

### **Desenvolvimento**

O trabalho foi desenvolvido através da realização de um conjunto de atividades apresentadas a seguir.

#### Levantamento de dados

Foram pesquisadas e recuperadas normas relativas à construção, desempenho e segurança de fogões, e publicações relacionados ao tema.

Foram levantados alguns modelos de fogões industriais, assim como modelos de painéis e recipientes de aquecimento e realizadas visitas a cozinhas industriais, a fim de verificar quais são os utensílios e modelos de fogões mais utilizados.

#### Compra de fogões, recipientes de cocção e dispositivos de medição

Foi feita a compra de dois fogões de uma boca, com queimador duplo, quatro caldeirões e quatro caçarolas, e medidores de vazão e reguladores de pressão para GLP.

#### Definição da geometria básica da blindagem

O dispositivo concebido para aumentar a eficiência do processo de aquecimento de utensílios (caldeirões e caçarolas) por queimadores de mesa de fogões industriais consiste num conjunto de duas blindagens (“poços de cozimento”) concêntricas apoiadas sobre a trempe do queimador, envolvendo o recipiente, como mostrado na Figura 1.

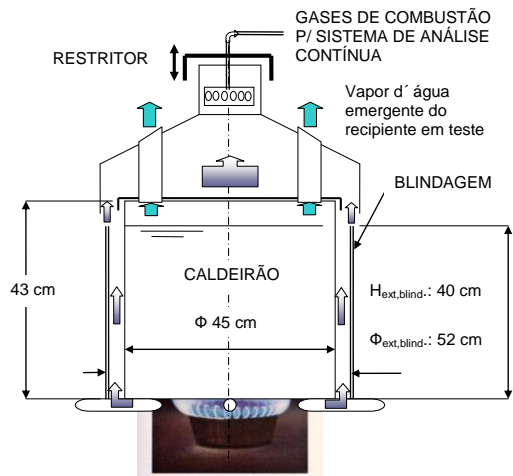


Figura 1 – Desenho esquemático da blindagem montada em torno do recipiente de cozimento

### Elaboração de modelo para cálculo das trocas de calor

As trocas ocorrem no fundo do recipiente (superfície plana horizontal) e também na superfície lateral (cilíndrica vertical). A parte relativa ao fundo do recipiente é a mais complexa do ponto de vista da modelagem, motivo pelo qual foi realizada uma pesquisa bibliográfica objetivando recuperar artigos e trabalhos mais detalhados acerca da expansão de jatos radiais incidentes sob superfícies planas horizontais (perfis de velocidades e coeficientes locais de troca de calor).

Foi elaborado um modelo matemático que permite estimar com razoável segurança as trocas de calor resultantes dos dois mecanismos preponderantes, entre a chama, gases de combustão e recipiente de cocção, antes e após a introdução do dispositivo de blindagem.

### Montagem de aparato para verificação do efeito da blindagem

Foi feita a montagem da instrumentação para a monitoria das temperaturas (da carga a aquecer, das superfícies do recipiente e da blindagem etc.), vazão de gás natural fornecida aos queimadores e composição dos gases de combustão. Essa instrumentação foi conectada ao sistema de aquisição de dados do laboratório.

### Execução dos testes de desempenho e modificações na blindagem

Foram executados testes de desempenho, utilizando recipientes (caldeirões e caçarolas) sem e com a blindagem desenvolvida (Figura 2).

Os resultados dos testes mostraram a necessidade da realização de modificações na blindagem. A nova blindagem teve sua superfície interna jateada com areia para aumentar a

rugosidade e, em seguida, recoberta por fuligem gerada por uma chama sub-estequiométrica de acetileno.



Figura 2 – Testes de desempenho

Novos testes foram realizados e novas versões de blindagem foram construídas e testadas. A Figura 3 mostra uma das versões, concebida para:

- evitar a entrada de vazão excessiva de ar frio que se mistura ao jato radial constituído pela chama e
- refletir radiação, vinda do fundo do recipiente e da chama e emitir radiação para o fundo do recipiente.

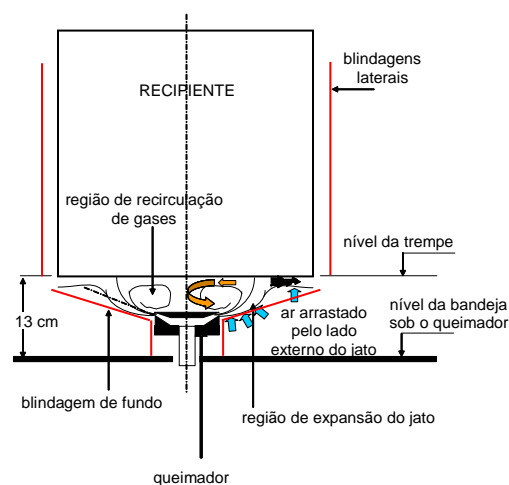


Figura 3 – Desenho esquemático de nova versão da blindagem montada em torno do recipiente de cozimento

Nos testes se buscou, também, a melhor regulagem e modificações do obturador de ar primário do queimador.

### **Resultados obtidos e conclusões**

Os objetivos do trabalho foram plenamente atingidos, tendo-se desenvolvido e testado: i) melhorias na regulagem dos queimadores, ii) incrementos nas propriedades radiativas das superfícies dos recipientes e iii) várias concepções de blindagens que permitiram alcançar aumentos de eficiência expressivos, como sumarizado a seguir.

#### Melhorias nas regulagens dos queimadores

Foram introduzidas modificações no obturador de ar primário dos queimadores dos fogões, as quais permitiram obter aumento de eficiência do processo de transferência de calor para o recipiente de 4,6 %. Essa medida de conservação de energia é de simples aplicação e o aumento de eficiência não é desprezível. Esta medida é igualmente eficaz para caldeirões e caçarolas.

#### Incrementos nas propriedades radiativas das superfícies dos recipientes

O aumento da emissividade do fundo de caçarolas permitiu obter um aumento de eficiência de 9,3 %. Esse aumento é muito expressivo, especialmente se for considerado que a aplicação desta medida é relativamente simples, tanto do ponto de vista construtivo quanto do ponto de vista do manuseio dos recipientes de cocção. Esta medida é um pouco mais eficaz para caçarolas do que para caldeirões; no caso destes últimos, o aumento de eficiência deve ser um pouco menor (algo entre 8,0 e 9,0 %).

#### Uso de blindagens laterais - caldeirões

Os aumentos de eficiência decorrentes do uso de blindagens laterais combinadas com tratamentos superficiais destas e dos recipientes de cocção foram pesquisados para os dois tipos de recipientes: caldeirões e caçarolas.

Nos caldeirões, o maior aumento de eficiência obtido foi ao redor de 20 %, conforme descrito abaixo.

- A regulagem da relação ar primário/gás do queimador do fogão, após pequena modificação de custo desprezível, permitiu aumentar a eficiência em 2,4 pontos percentuais ou 4,7 %.
- A colocação de uma blindagem de fundo, de construção bastante simples e custo muito baixo, além da colocação de uma blindagem lateral constituída por duas chapas de alumínio, sem

isolamento externo, permitiu aumentar a eficiência em 10 %.

- A retenção da blindagem de fundo, além da colocação de uma blindagem lateral constituída por uma chapa de alumínio, com isolamento externo, permitiu aumentar a eficiência em 11,7 %.

- A retenção da blindagem de fundo, além do enegrecimento da superfície interna da blindagem lateral anterior, permitiu aumentar a eficiência em 12,3 %.

- A retenção das blindagens do caso anterior, além do enegrecimento da superfície lateral externa do caldeirão, permitiu aumentar a eficiência em 14,4 %.

- A retenção das blindagens, além do enegrecimento da superfície lateral e do fundo do caldeirão, permitiu aumentar a eficiência em 19,1 %. Esta configuração foi a que produziu a melhor eficiência.

#### Uso de blindagens laterais - caçarolas

- A colocação da blindagem de fundo, além da colocação de uma blindagem lateral constituída por uma chapa de alumínio, com isolamento externo, permitiu aumentar a eficiência em 4,9 %.

- O simples enegrecimento do fundo da caçarola, sem o uso de blindagem lateral, permitiu aumentar a eficiência em 9,3 %.

- A colocação da blindagem de fundo, além da colocação de uma blindagem lateral constituída por uma chapa de alumínio, com isolamento externo e com superfície interna enegrecida, além do enegrecimento da superfície externa (fundo + lateral) da caçarola, permitiu aumentar a eficiência em 17,0 %.

### **Referências**

Incropera, F. P. et al. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 643 p.

Johnson, D.C. and Han, Lit S. Heat Transfer to Turbulent Radial Wall Jets. Journal of Thermophysics and Heat Transfer (AIAA), 1991, 0887-8722, Vol. 5, Nº 4, p. 621-623.

Cziesla, Laschefski. Influence of Exit Angle on Radial Jet Reattachment and Heat Transfer. Journal of Thermophysics and Heat Transfer (AIAA), Vol. 9, Nº 1, 1995, p. 169-174.

Abramovich, G.N. The Theory of Turbulent Jets, The Massachusetts Institute of Technology, 1963.

Hottel, H.C. and Sarofim, A.F. Radiative Transfer, McGraw-Hill, 1967.

Perry, R.H. & Chilton, C.H. Manual de Engenharia Química. 5. ed. Editora Guanabara Dois, 1986.