

## UTILIZAÇÃO DE BIODIESEL DE ÓLEO DE FRITURA EM FORNALHA CALORIMÉTRICA FLAMOTUBULAR

**Gustavo Rodrigues de Souza**  
e-mail: gustavor@sc.usp.br

**Antonio Moreira dos Santos**  
e-mail: asantos@sc.usp.br

**Keyll Carlos Ribeiro Martins**  
e-mail: kmartins@sc.usp.br

**Rodrigo Fernando Estella dos Santos**  
e-mail: santosrf@sc.usp.br

### Resumo

O trabalho consiste em uma análise experimental do processo de transferência de calor em uma fornalha calorimétrica flamotubular, na qual foram queimados óleo diesel e biodiesel originado de óleo de fritura. Estuda-se a taxa de transferência de calor em várias seções discretas ao longo da fornalha e compara-se o desempenho dos combustíveis. O fluxo de calor proveniente da queima de cada combustível, em direção às paredes da câmara, foi avaliado para uma mesma pressão de injeção de combustível. O óleo diesel apresentou maior taxa de transferência de calor em relação ao biodiesel, mas, apesar dessa constatação, esse combustível pode substituir o óleo diesel em caldeiras flamotubulares, porém, é recomendável o monitoramento da temperatura na entrada da chaminé para, com base nesta informação, controlar a injeção de combustível a fim de garantir o mesmo rendimento total de caldeira.

*Palavras-chave:* biodiesel, óleo diesel, fornalha, flamotubular, transferência de calor.

### Introdução

Atualmente, pesquisam-se muito os combustíveis renováveis aplicados a motores de combustão interna. Não se pode negar que toda a comoção, hoje estabelecida na mídia, vem sendo conquistada por pesquisadores empenhados em difundir novos conhecimentos e técnicas de utilização de novos combustíveis, utilizados como alternativas energéticas melhores para o mundo de hoje. Mas é importante ressaltar que estes combustíveis devem e podem ser testados em diferentes máquinas térmicas já existentes, ou desenvolvidas para tais objetivos, como, por exemplo, as caldeiras flamotubulares e aquatubulares que utilizam este tipo de combustível. Há muito pouco tempo, ocorreram no Brasil situações de racionamento de energia elétrica, isto porque as matrizes energéticas estão concentradas em poucas fontes. Uma opção para diversificar estas matrizes seria a construção de um número maior de usinas termoeletricas.

Logo, o presente trabalho torna-se de extrema relevância nos dias atuais, pois envolve comparações entre um combustível de origem fóssil e outro de origem vegetal (fonte renovável de energia), além disso, coloca-se à prova a eficiência de cada um dos combustíveis no aspecto transferência de calor.

### Combustíveis Renováveis – Biodiesel

Os combustíveis de origem vegetal são uma alternativa para a diminuição do consumo de combustíveis fósseis. “Entre os diversos produtos naturais fixadores da energia solar, os glicerídeos, ou óleos vegetais, constituem a fonte renovável mais promissora à obtenção de combustíveis líquidos” (MIC-STI, 1985). Embora as estimativas de custos de produção de óleo vegetal não sejam tão animadoras nos casos das culturas anuais, não há dúvida de que para culturas perenes este custo seja menor que os custos de extração de petróleo. Outro enfoque importante é a aplicação integral dos subprodutos adquiridos nas diversas fases dos processos industriais de obtenção da matéria-prima oleaginosa. Estes subprodutos podem ser usados tanto para ração animal e indústrias farmacêuticas quanto diretamente em caldeiras. Além disso, os combustíveis renováveis podem substituir parcial ou totalmente as frações mais leves do petróleo (a gasolina e o óleo diesel) e ao mesmo tempo trazem benefícios sociais, como o aumento de empregos, hoje um dos grandes problemas nacionais.

Tecnicamente, o biodiesel é definido como um éster alquílico de ácidos graxos, obtidos da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo (óleos e gorduras vegetais

ou animais) com álcool de cadeia curta (metanol ou etanol). A transesterificação consiste em uma reação química de um óleo vegetal com um álcool, que pode ser etanol ou metanol, na presença de um catalisador ácido (HCl – ácido clorídrico) ou básico (NaOH – hidróxido de sódio, ou KOH – hidróxido de potássio). Como resultado, obtém-se o éster metílico ou etílico (biodiesel), conforme o álcool utilizado, e a glicerina. Portanto, a transesterificação nada mais é que a separação da glicerina do óleo vegetal (Meirelles, 2004).

O biodiesel oferece diversas vantagens sociais, econômicas e ambientais:

- A produção dos insumos para a produção do biodiesel gera empregos diretos.
- O uso do biodiesel como combustível substitui importações de petróleo e diesel.
- O ciclo do CO<sub>2</sub> nos processos que envolvem a produção vegetal, a produção industrial e a combustão nos veículos evita a concentração deste gás na atmosfera, reduzindo o efeito estufa.
- A emissão de poluentes atmosféricos pela queima do biodiesel em motores ICO acontece em proporções inferiores à emissão do óleo diesel.

Os críticos ao uso do biodiesel apontam a necessidade de discutir em maior profundidade as seguintes questões:

- O domínio da técnica de transesterificação com etanol e a qualidade do biodiesel.
- O preço dos óleos vegetais e commodities de exportação, que devem ser pesados em relação à opção do combustível produzido em larga escala.
- Os efeitos do uso do biodiesel sobre os sistemas e peças dos motores de combustão interna.
- A expansão da fronteira agrícola sobre as florestas e matas nativas, uma realidade, apesar dos potenciais ganhos de eficiência.
- O destino a dar ao excedente do subproduto glicerina.

## Materiais e Métodos

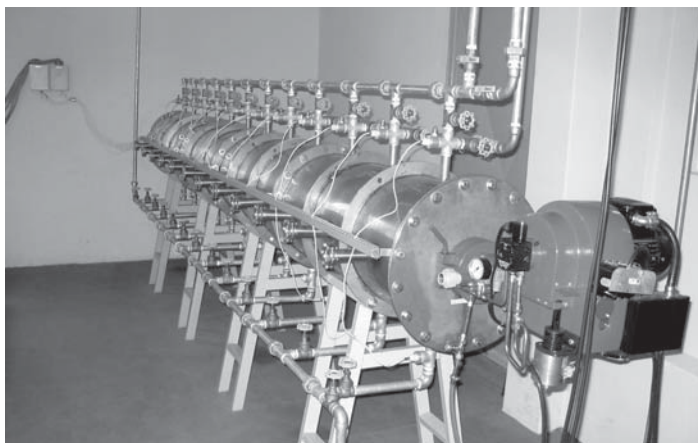
A fornalha projetada e construída é do tipo calorimétrica. Para facilitar a construção e reparos e, ainda, proporcionar versatilidade de uso, a fornalha foi projetada e construída em quatro módulos iguais (Figura 1).

Cada módulo mede 1 metro de comprimento e é constituído por um tubo central com diâmetro interno de 0,305 m, sobreposto por outro tubo com diâmetro interno de 0,415 m, formando uma câmara de escoamento de água com espessura de 0,055 m entre os dois tubos. O módulo, individualmente, é constituído por três câmaras calorimétricas de 0,328 m de comprimento, ou seja, em cada um existe um par de flanges nas extremidades e dois flanges que subdividem o tubo externo e a câmara de água, formando assim as três câmaras calorimétricas. Os flanges internos são soldados sobre a face externa do tubo interno para promover estancamento entre as câmaras calorimétricas.

Cada câmara calorimétrica é atravessada por dois tubos com 0,025 m de diâmetro interno, soldados um de cada lado, na mesma direção, para servirem de ponto de observação da chama e coleta de dados e amostras de gases. Além disso, cada câmara possui dois tubos de 0,019 m de diâmetro interno soldados na parte inferior e superior da câmara para servirem, respectivamente, de alimentação e descarga de água da câmara calorimétrica.

*Observação:* A ASME VIII (section I – Power Boilers) foi consultada como orientação do projeto, contudo, as espessuras adotadas não foram calculadas segundo as fórmulas estabelecidas pela norma, pois as câmaras calorimétricas não têm a finalidade de gerar vapor.

O queimador é de fabricação da *INCOETERMIC Ltda. – Indústria e Comércio de Equipamentos Térmicos* e é do tipo monobloco para óleo e gás *Mod. SST 03 – D122 – UOP* para 180.000 kcal. É dotado de um motor *WEG* de 200 V, trifásico, 2,39 A, 3.430 rpm e 0,55 kW; ventilador do tipo *Sirocco*; e bomba de óleo *Danfoss Mod. BFP 21 L 5*. Pode ser observado, na Figura 2, o bico



**Figura 1** Fornalha calorimétrica.

injetor de combustível, por onde passa o fluxo de ar de uma forma adequada para formar a mistura ar-combustível.

Na Tabela 1, observam-se as características dos combustíveis utilizados no experimento; as análises foram realizadas no Núcleo de Engenharia Térmica e Fluidos da Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

## Resultados

Na bancada experimental foi possível observar a transferência de calor nas diferentes células ao longo da fornalha. Isso pode ser visto na Figura 3, onde estão “plotados” os percentuais de energia calorífica transferidos em cada célula calorimétrica em função da energia introduzida na fornalha e da pressão de injeção dos combustíveis utilizados. Nota-se que, em todas as células, a transferência de calor na combustão do óleo diesel é superior à do biodiesel.

Através da análise da Figura 4, observa-se que as curvas de tendência têm o mesmo comportamento; já na faixa estudada, o diesel apresentou pequeno aumento em relação ao biodiesel. O biodiesel demonstrou rendimento térmico acumulativo (Rhine & Tucker, 1991) inferior ao diesel. Isso pode ser explicado pela emissividade de cada combustível, sendo a chama do óleo diesel dotada de maior poder emissivo.

## Conclusões

A fornalha calorimétrica flamatubular desenvolvida configurou-se como importante equipamento para a pesquisa do processo de combustão e da transferência de calor quando se pretende queimar combustíveis líquidos ou gasosos. Também pode ser utilizada para o desenvolvimento e ensaios de queimadores.

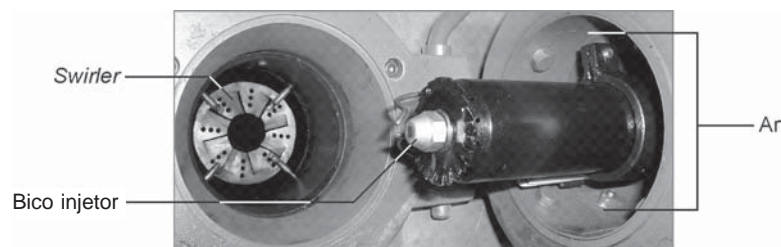


Figura 2 Bico injetor de combustível.

Tabela 1 Características dos combustíveis: óleo diesel e biodiesel de óleo de fritura.

Características	Diesel	Biodiesel
Poder calorífico superior (kJ/kg)	44.815	39.622
Massa específica – 25°C (kg/m <sup>3</sup> )	857	872
Viscosidade dinâmica (cP)	4,826 (26,1°C)	6,233 (25,6°C)

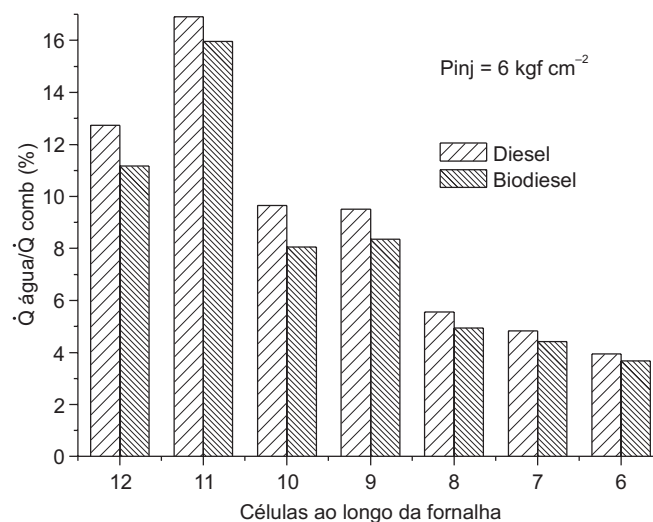
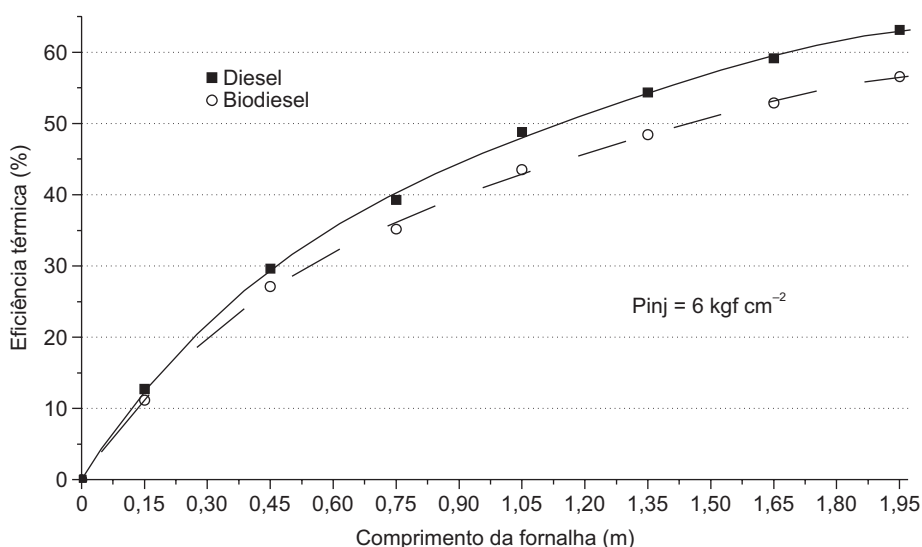


Figura 3 Transferência de calor na fornalha.



**Figura 4** Rendimento térmico acumulativo ao longo da fornalha.

A combustão com a presença de chama na fornalha ocorre no máximo até uma distância do bico injetor correspondente a três vezes do diâmetro da fornalha. Portanto, dois módulos da fornalha calorimétrica são suficientes para o estudo na região de predominância da transferência de calor por radiação. Os outros dois módulos podem ser substituídos por bancos de tubos para o estudo do mecanismo de transferência de calor por convecção.

Apesar da menor transferência de calor por radiação na fornalha para o biodiesel, esse combustível pode substituir o óleo diesel em caldeiras flamatubulares. Porém, é recomendável o monitoramento da temperatura na entrada da chaminé para, com base nesta informação, controlar a injeção de combustível a fim de garantir o mesmo rendimento total de caldeira (transferência de calor na fornalha e nos bancos de tubos).

Visualmente, verificou-se que a chama do óleo diesel, a uma mesma pressão de injeção, formou-se em uma região mais próxima do bico injetor e com um “leque” de angulação maior. Pode-se observar também, através de uma análise sensitiva, que na queima do biodiesel os produtos de combustão apresentaram coloração menos escura, menos agressiva e com odor mais brando que o óleo diesel.

## Agradecimentos

Ao CNPq, pela bolsa concedida e pelo financiamento do Projeto CNPq nº 460283/01-4, que permitiu a realização do trabalho de pesquisa, e ao LADETEL – Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias Limpas, pelo fornecimento do biodiesel utilizado.

## Referências Bibliográficas

- ASME VIII – The American Society of Mechanical Engineers (section I – Power Boilers).
- MEIRELLES, F. S. *Biodiesel*. Disponível em: <<http://www.faespsenar.com.br/faesp/economico/EstArtigos/biodiesel.PDF>>. Acesso em: 13 set. 2004.
- MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO. *Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais*. Brasília, 1985. (Série Documentos, 16).
- RHINE, J. M.; TUCKER, R. J. *Modelling of gas-fired furnaces and boilers and other industrial heating processes*. London: British Gas in Association with McGraw-Hill Book, 1991.