

## DESEMPENHO DE UM AQUECEDOR DE ÁGUA A BIOGÁS

FABIO M. DA SILVA<sup>1</sup>, JORGE DE LUCAS JUNIOR<sup>2</sup>, MARIO BENINCASA<sup>2</sup>,  
EZEQUIEL DE OLIVEIRA<sup>3</sup>

**RESUMO:** Estudos foram desenvolvidos para dimensionar e adaptar o injetor do queimador principal de um aquecedor de água tipo acumulação de 75 L. O diâmetro do injetor foi redimensionado em função da pressão de serviço de 100 mm H<sub>2</sub>O e poder calorífico inferior do biogás de 21.600 kJ m<sup>-3</sup> n, garantindo a manutenção da potência calorífica do equipamento de 20.900 kJ h<sup>-1</sup>. Os resultados demonstraram que o queimador adaptado operou com biogás adequadamente, com chama estável. A eficiência média do aquecedor foi de 68%, para ganho térmico de 36,7 °C, correspondendo à temperatura final da água igual a 62,7 °C, sendo consumido 0,796 m<sup>3</sup>n de biogás, aquecendo 75 L de água em 72 minutos.

**PALAVRAS-CHAVE:** biogás, poder calorífico, digestão anaeróbia.

## PERFORMANCE OF A WATER HEATER BY BIOGAS

**ABSTRACT:** Studies had been developed to project and to adapt the injector of the main burner of water heater accumulated type of 75 L. The diameter of the injector was project in function of the pressure of service of 100 mm H<sub>2</sub>O and inferior calorific power of biogas of 21,600 kJ m<sup>-3</sup> n, having guaranteed the maintenance of the calorific power of the equipment of 20,900 of kJ h<sup>-1</sup>. The results had demonstrated that the adapted burner to operate with biogas operated adequately with a steady flame. The average efficiency of the heater was of 68%, for a thermal profit of 36.7 °C, corresponding the final temperature of the water of 62.7 °C being consumed 0.796 m<sup>3</sup> n of biogas, heating 75 L of water in 72 minutes.

**KEYWORDS:** biogas, calorific power, anaerobic digestion.

## INTRODUÇÃO

Atualmente, as nações, em quase sua totalidade, são dependentes dos combustíveis derivados do petróleo e da energia elétrica para gerar energia térmica e mecânica. No Brasil, devido à disponibilidade de recursos hídricos para geração de energia elétrica, essa tem sido largamente empregada em unidades de aquecimento industriais e domésticas.

O petróleo, não sendo uma forma renovável de energia e mediante a tendência de elevação de preço no mercado mundial, bem como a energia elétrica, não sendo disponível no meio rural das regiões mais remotas, conduzem ao desenvolvimento e utilização de novas formas energéticas, sobretudo as renováveis.

O Clube de Bolonha, em sua quarta reunião sobre combustíveis, em novembro de 1992, concluiu como sendo uma das mais viáveis opções de fonte de energia para a agricultura o uso de combustíveis obtidos da biomassa. O modelo energético brasileiro recomenda a diversificação de formas energéticas, priorizando, sobretudo, a existência de tecnologia disponível no País, evitando ao máximo a dependência externa.

<sup>1</sup> Prof. Dr., Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras - MG, famsilva @ufla.br

<sup>2</sup> Prof. Titular, Departamento de Engenharia Rural, UNESP, Jaboticabal - SP.

<sup>3</sup> Mestrando em Engenharia. Agrícola, UFLA, Lavras - MG.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 8-9-2004

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 24-10-2005

Atendendo perfeitamente a essas recomendações, o meio rural destaca-se pela possibilidade de aproveitamento energético dos resíduos agropecuários, principalmente por meio do processo de digestão anaeróbia com fins energéticos e ambientais, produzindo biogás, biofertilizante e reduzindo a matéria orgânica poluente.

A tecnologia da digestão anaeróbia para a produção de biogás tem sido largamente estudada no Departamento de Engenharia Rural da UNESP - Jaboticabal, sendo demonstrada a potencialidade energética dos resíduos agrícolas. Como exemplo, BENINCASA et al. (1986) relatam que, a partir da produção média diária de esterco de um bovino adulto, cerca de 25 kg, pode-se obter 1,0 m<sup>3</sup> de biogás, correspondendo a 0,6 L de diesel. BARRA (1985) cita que, para a produção de 100 L de álcool etílico, obtêm-se, como resíduo, 1.300 L de vinhaça que, devidamente processada, pode gerar 1 m<sup>3</sup> de biogás.

Segundo LAURENTINO (1980), na década de 1970, o Brasil possuía em torno de 3 mil biodigestores em operação, sendo a maioria deles instalados em áreas rurais das regiões Nordeste e Sul; nos dias atuais, esse número aumentou consideravelmente, principalmente na região Sudeste, porém se desconhece o levantamento atual sobre o número de unidades em funcionamento.

O biogás produzido em biodigestores rurais normalmente é armazenado a baixa pressão em gasômetros e vem sendo utilizado por meio da combustão em equipamentos para geração de calor, como queimadores de fogões, fornalhas, campânulas de aquecimento, etc.

Segundo SILVA & LUCAS JÚNIOR (s.d), a utilização do biogás no Brasil tem sido limitada pela falta de equipamentos de linha comercial especialmente desenvolvidos para o uso de biogás. Atualmente, boa parte dos equipamentos em operação com biogás são empiricamente adaptados a partir de equipamentos dimensionados para uso do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP).

Várias instalações rurais, como granjas de suínos, de aves e leiteira, necessitam diariamente de água aquecida para a assepsia de animais, utensílios e para o processo de pasteurização, dentre outros, o que vem sendo feito por meio de aquecedores centrais elétricos ou a GLP, nos quais poderia ser usado o biogás.

AMESTOY & FERREYRA (1987) descreveram sobre equipamentos para o aquecimento de água e desenvolvem estudos sobre dimensionamento de queimadores para biogás. Quanto aos aquecedores de água com biogás, os autores recomendam os modelos do tipo acumulação, devido a sua boa eficiência térmica, resultando em baixo consumo energético.

As limitações em se converter equipamentos originalmente a GLP para biogás, residem em alguns fatores que devem ser considerados no redimensionamento, a saber: menor poder calorífico do biogás, baixa pressão de serviço dos biodigestores e baixa velocidade de combustão do biogás, sendo essa responsável pelo sopramento da chama, característica que se destaca na queima do biogás, segundo AMESTOY & FERREYRA (1987).

O poder calorífico do biogás depende diretamente do seu teor de metano. LUCAS JÚNIOR (1987), analisando o biogás produzido em biodigestores modelos indiano e chinês, pelo período de um ano, encontrou, em média, 57,7% de CH<sub>4</sub> e 34,2 de CO<sub>2</sub>.

Quanto à pressão do biogás armazenado em biodigestores, AMESTOY & FERREYRA (1987) citam os limites de 80 a 500 mm H<sub>2</sub>O. ORTOLANI et al. (1986) recomendam 150 e 200 mm H<sub>2</sub>O, respectivamente, para pressão de serviço de biodigestores modelos indiano e chinês.

Nesse contexto, considerando o biogás como alternativa energética renovável e viável para o meio rural, este trabalho teve como objetivos a adaptação do queimador para biogás e a avaliação do desempenho de um aquecedor de água do tipo acumulação.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram desenvolvidos no Departamento de Engenharia Rural da UNESP - Jaboticabal, onde se encontram instalados biodigestores modelos indiano e chinês, operados com estrume de bovinos, cujo biogás produzido fica armazenado em gasômetros sob pressão média de 100 mm H<sub>2</sub>O.

O aquecedor de água utilizado é do tipo acumulação, com potência calorífica de 20.900 kJ h<sup>-1</sup> (5.000 kcal h<sup>-1</sup>), originalmente projetado para queimar GLP, sendo constituído de reservatório de água de 75 L, queimador principal, queimador-piloto, válvula termostática de controle e dispositivo piezoelétrico de acendimento.

O queimador principal consta de uma grelha com diâmetro de 143 mm, em cujo perímetro estão distribuídos 60 furos com área média de 7,5 mm<sup>2</sup> cada.

### Dimensionamento do injetor

Na adaptação do aquecedor de água, procurou-se manter a mesma grelha do queimador principal, redimensionando o injetor para biogás com vistas à manutenção da potência calorífica original.

Para o cálculo da potência calorífica, AMESTOY & FERREYRA (1987) fazem referência à seguinte expressão:

$$P_c = H_s Q \quad (1)$$

em que,

- P<sub>c</sub> - potência calorífica, kJ h<sup>-1</sup>;
- H<sub>s</sub> - poder calorífico superior do gás, kJ m<sup>-3</sup>, e
- Q - consumo volumétrico de gás, m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>.

O poder calorífico do biogás, bem como o peso específico e outros parâmetros termodinâmicos, como já foi citado, depende das proporções de metano em sua composição. MITZLAFF (1988) apresenta as seguintes expressões para o cálculo destes parâmetros.

$$H_B = \% CH_4 \rho_{CH_4} H_{CH_4} \quad (2)$$

em que,

- H<sub>B</sub> - poder calorífico do biogás, kJ m<sup>-3</sup>;
- ρ<sub>CH<sub>4</sub></sub> - peso específico do metano, kg m<sup>-3</sup>, e
- H<sub>CH<sub>4</sub></sub> - poder calorífico do metano, kJ kg<sup>-1</sup>.

$$\rho_{B,n} = \frac{0,72 (\% CH_4) + 1,96 (\% CO_2)}{100} \quad (3)$$

em que,

- ρ<sub>B,n</sub> - peso específico normal do biogás, kg m<sup>-3</sup>.

Em relação às condições ambientes locais, os pesos específicos do metano e do biogás podem ser corrigidos, como segue:

$$\rho = \rho_{,n} \frac{p_a}{101,33} \frac{273,15}{273,15 + t} \quad (4)$$

em que,

- ρ - peso específico real do gás, kg m<sup>-3</sup>;
- ρ<sub>,n</sub> - peso específico normal do gás, kg m<sup>-3</sup>,n;
- p<sub>a</sub> - pressão ambiente local, kPa, e
- t - temperatura ambiente local, °C.

A exemplo de AMESTOY & FERREIRA (1987) e MITZLAFF (1988), adotou-se, neste trabalho, para os cálculos de dimensionamento, biogás com composição teórica de 60% de CH<sub>4</sub> e 40% de CO<sub>2</sub>. Com relação ao metano, ARROYO (1984) e MITZLAFF (1988) fazem referências aos seguintes parâmetros termodinâmicos para as condições normais de pressão e temperatura:  $\rho = 0,72 \text{ kg m}^{-3}$ ; poder calorífico inferior (Hi) = 50.000 kJ kg<sup>-1</sup> e Hs = 55.545 kJ kg<sup>-1</sup>.

Aplicando-se esses valores de referência às eqs.(2) e (3), obtêm-se os seguintes parâmetros para o biogás:

$$r_{ni} = 1,216 \text{ kg m}^{-3}n$$

$$H_{i,n} = 21.600 \text{ kJ m}^{-3}n$$

$$H_{s,n} = 23.995 \text{ kJ m}^{-3}n$$

A eq.(1) permite calcular o consumo de biogás para atender à potência calorífica de 20.900 kJ h<sup>-1</sup> do aquecedor, como segue:

$$Q_{B,N} = \frac{Pc}{H_{s,B}} = \frac{20.900 \text{ kJ h}^{-1}}{23.995 \text{ kJ m}^{-3}n} \therefore Q_{B,N} = 0,871 \text{ m}^{-3}n \text{ h}^{-1} \quad (5)$$

Para o cálculo do injetor, utilizou-se da expressão simplificada citada por SANTOS (1990), indicada para o dimensionamento de injetores de indução atmosférica para pressão de serviço de até 500 mmH<sub>2</sub>O.

$$Q_n = 0,182 C d^2 \sqrt{\frac{h}{\delta(273 + tg)}} \quad (6)$$

em que,

Q<sub>n</sub> - débito volumétrico normal de gás, m<sup>3</sup> n h<sup>-1</sup>;

C - coeficiente de descarga do injetor;

h - pressão de serviço do gás, mm H<sub>2</sub>O;

d - diâmetro do orifício do injetor, mm;

tg - temperatura do gás, °C, e

δ = densidade relativa do gás ao ar, ρgás/par.

Para atender ao consumo necessário de biogás de 0,871 m<sup>3</sup> n h<sup>-1</sup>, sob pressão de serviço h = 100 mm H<sub>2</sub>O, usando coeficiente de descarga igual a 0,8, conforme recomendação do autor e adotando a temperatura do gás de 27 °C, é necessário um injetor de furo cilíndrico com diâmetro igual a 3,17 mm, sendo adotado neste caso construtivo o injetor d = 3,2 mm.

AMESTOY & FERREYRA (1987) recomendam que a velocidade de saída da mistura de biogás e ar nos orifícios da grelha seja aproximadamente de 0,5 a 0,8 m s<sup>-1</sup>, com taxa de ar primário de 0,8 a 0,9. SANTOS (1990) usa, para o dimensionamento, taxa de ar primário em torno de 0,6. Mesmo sob essa menor aeração, a área total dos orifícios da grelha deveria ser da ordem de 1.384 mm<sup>2</sup>. Como a área total dos orifícios é de apenas 450 mm<sup>2</sup>, foi necessário manter as janelas de entrada de ar induzido em posição mais fechada.

Para o queimador-piloto, foi colocado um injetor com diâmetro de 1 mm, com descarga de biogás calculada de 0,087 m<sup>3</sup> n h<sup>-1</sup>, operando com chama pós-aerada.

### Avaliação do desempenho do aquecedor

Para a avaliação do desempenho, o aquecedor foi interligado às redes de abastecimento de água e de biogás do Departamento de Engenharia Rural.

As coletas de dados foram efetuadas com o aquecedor operando sob duas condições de regulação da válvula termostática de controle: para temperatura de aquecimento máxima e com a alavanca reguladora na metade do seu curso.

Foram feitas determinações de temperatura e pressão da água, na entrada e na saída do aquecedor e do biogás, bem como determinações do volume de biogás utilizado nos diversos ensaios.

### **Temperatura**

As determinações de temperatura da água foram efetuadas a partir do uso de termômetros de mercúrio, instalados na tubulação de entrada (água fria) e de saída (água quente) do aquecedor, tomando-se cuidado para que os bulbos dos termômetros tivessem contato com os fluxos de água.

A temperatura do biogás foi efetuada por meio de termômetro eletrônico digital, cujo sensor foi instalado na rede de biogás próximo ao medidor de consumo e do queimador.

### **Volume de biogás**

O volume de biogás, consumido em cada ensaio, foi determinado por meio do medidor volumétrico de gás, LAO - modelo MG-6, calibrado e instalado na rede de abastecimento de biogás, próximo ao queimador.

### **Eficiência do aquecedor**

O cálculo da eficiência térmica do aquecedor foi efetuado por meio da relação entre a energia calorífica transferida para a água e a energia liberada por meio da queima do biogás.

O volume de biogás consumido foi corrigido para as condições normais ( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $1\text{ atm}$ ), pela eq.(4), considerando-se o poder calorífico inferior igual a  $21.600\text{ kJ m}^{-3}\text{n}$ .

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As medidas volumétricas de biogás revelaram consumo máximo horário de  $0,876\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$  que, aplicado à eq.(1), resulta em potência calorífica de  $21.020\text{ kJ h}^{-1}$ , valor apenas  $0,57\%$  superior à potência calorífica original do aquecedor de  $20.900\text{ kJ h}^{-1}$ , o que vem a validar a metodologia aplicada para o redimensionamento e adaptação do queimador. Para o consumo máximo de biogás, a velocidade de saída da mistura nos furos do queimador foi de  $0,53\text{ m s}^{-1}$ , estando dentro do valor recomendado por AMESTOY & FERREYRA (1987) de  $0,5$  a  $0,8\text{ m s}^{-1}$ .

Esse valor de potência calorífica calculada em função do consumo máximo é teórico, pois considera o poder calorífico superior do biogás, sendo mais real considerar a energia calorífica liberada no processo, calculada em função do poder calorífico inferior do biogás, para as condições ambientais locais ( $p_a = 94,55\text{ kPa}$  e  $t_g = 27,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), resultando em carga calorífica máxima de  $16.064\text{ kJ h}^{-1}$ .

### **Desempenho do aquecedor**

Os resultados de desempenho do aquecedor demonstraram que a temperatura máxima da água aquecida atingiu  $62,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ao passo que, posicionando a alavanca reguladora do termostato na metade do curso, conseguiu-se temperatura final da água igual a  $49\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Na Tabela 1, são apresentados os consumos médios de biogás nas condições normais e as condições térmicas nos ensaios com temperatura final média e máxima da água na entrada e na saída do aquecedor.

TABELA 1. Consumo de biogás corrigido para as condições normais e temperaturas da água.

Regulagem do Termostato	Temperatura da Água (°C)			Consumo de Biogás (m <sup>3</sup> )	
	Inicial	Final	DT*	Real	Corrigido
Médio	25,0	49,0	24,0	0,593	0,505
Máximo	26,0	62,7	36,7	0,928	0,796
Média geral	25,6	57,2	31,6	0,794	0,679

\* diferença de temperatura

Os resultados da Tabela 1 permitem observar que, em média, foram necessários aproximadamente 0,022 m<sup>3</sup> de biogás para o ganho de 1 °C na temperatura de 75 L de água, ou seja, 0,000293 m<sup>3</sup> de biogás °C<sup>-1</sup> para cada litro de água.

Na Tabela 2, são apresentados os resultados de energia liberada pela queima do biogás no aquecedor e da energia transferida para a água, em kJ, bem como a eficiência do sistema.

Observa-se que o aquecedor apresentou eficiência térmica média igual a 68% e que a eficiência aumenta se a operação for feita com o termostato regulado para temperaturas finais mais baixas, porém o aumento de eficiência foi de apenas dois pontos, quando se diminuiu a temperatura final da água de 62,7 para 49 °C.

TABELA 2. Energia liberada pelo biogás e transferida para a água e eficiência do aquecedor.

Regulagem do Termostato	Energia Liberada pelo Biogás (kJ)	Energia Transferida para a Água (kJ)	Eficiência (%)
Médio	10.908,0	7.524,0	69
Máximo	17.193,6	11.495,0	67
Média Geral	14.666,4	9.906,6	68

Deve-se ressaltar que o queimador-piloto consumiu o equivalente a 0,077 m<sup>3</sup>n h<sup>-1</sup>, operando com chama pós-aerada, correspondendo à vazão 12% menor que a calculada (0,087 m<sup>3</sup>n h<sup>-1</sup>); no entanto, a chama se manteve estável, correspondendo a um consumo menor de biogás de apenas 1,85 m<sup>3</sup> por dia, para atendimento do consumo do piloto em 24 h de operação.

## CONCLUSÕES

O aquecedor de água do tipo acumulação demonstrou ser de fácil adaptação e operação para o uso de biogás e apresentou eficiência térmica média de 68%.

O consumo de biogás pode ser considerado baixo, pois, para ganho térmico de 36,7 °C (temperatura final da água igual a 62,7 °C), foi necessário apenas 0,796 m<sup>3</sup>n de biogás, aquecendo 75 L de água em 72 minutos.

A metodologia utilizada no redimensionamento e adaptação do queimador para o uso do biogás “in natura”, mostrou-se adequada, comprovando experimentalmente os valores teóricos.

## REFERÊNCIAS

AMESTOY, E.A.; FERREYRA, R.D. *Utilização del biogas*. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE BIODIGESTION ANAEROBIA, 1987, Montevideo. *Anais...* Montevideo: Comisión de Agroenergia, FAO, 1987. 63 p.

- ARROYO, N.A.R. O “kit” metano-diesel - atual estágio da pesquisa. In: ENCONTRO DE BIOGÁS AUTOMOTIVO PARA O MEIO RURAL, 1., 1984, Brasília. *Anais...* Brasília: EMATER, 1984. p.29-36.
- BARRA, M.E. Utilização de gás metano em veículos pesados. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA, 2., 1985, Brasília. *Anais...* 1985.
- BENINCASA, M.; ORTOLANI, A.F.; LUCAS JÚNIOR, J. *Biodigestores convencionais*. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 1986. 25 p.
- LAURENTINO, F.B. *Construção e operação de biodigestores*. Brasília: EMBRATER, 1980. 24 p. (Manual Técnico)
- LUCAS JÚNIOR, J. *Estudo comparativo de biodigestores modelos indiano e chinês*. 1987. 114 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1987.
- MITZLAFF, K. Von. *Engines for biogas*. Wiesbaden: Veiweg, 1988. 133 p.
- ORTOLANI, A.F.; BENINCASA, M.; LUCAS JÚNIOR, J. *Biodigestores rurais indiano e chinês*. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1986. 25 p. (Boletim Técnico, 9).
- SANTOS, A.M. *Queimadores de gás com ar induzido - teoria e projeto*. São Carlos: EESC/USP, 1990. 29 p.
- SILVA, F.M.; LUCAS JÚNIOR, J. *Biogás - produção e utilização*. Jaboticabal: FCAV/UNESP, s.d. 8 p. (Boletim Técnico).