

Eixo Temático ET-06-002 - Energia

## **BIOGÁS PROVENIENTE DE BIODIGESTOR COMO FONTE ENERGÉTICA PARA UM PROTÓTIPO DE MOTOR STIRLING CONSTRUÍDO A PARTIR DE MATERIAIS RECICLÁVEIS**

Luiz Antonio Pimentel Cavalcanti<sup>1</sup>, Fabiano Almeida Nascimento<sup>2</sup>, Samara Pereira Vieira<sup>3</sup>,  
Alberto Brandão Torres Neto<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA. *Campus* Paulo Afonso, Bahia. E-mail: luiz.cavalcanti@ifba.edu.br.

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA. *Campus* Paulo Afonso, Bahia. E-mail: fabianoalmeidaeng@gmail.com.

<sup>3</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA. *Campus* Paulo Afonso, Bahia. E-mail: samara.maia@hotmail.com.

<sup>4</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA. *Campus* Paulo Afonso, Bahia. E-mail: alberto.brandao@ifba.edu.br.

### **RESUMO**

As produções das pisciculturas e indústrias de pescado vem crescendo constantemente e sendo grandes fontes de alimentos e nutrição proveniente de peixes no Brasil e no mundo. Seu desenvolvimento ocasiona também um aumento na geração de resíduos sólidos orgânicos como as vísceras de peixe, que, por receberem uma destinação incorreta, resultam em problemas ambientais e outras adversidades. Com isso, é pertinente verificar a viabilidade do uso de vísceras de peixe como fonte de carbono para a produção de biogás e biofertilizante, através do processo de digestão anaeróbica na construção de um protótipo de biodigestor visando à produção de adubo orgânico e biogás. Tal gás pode ser utilizado como fonte energética para um motor stirling, já que este tipo de motor pode utilizar este combustível como fonte de calor para conversão em energia mecânica, podendo vim a ser mais eficiente que os motores a diesel e a gasolina. Nesse sentido, utilizou-se o biogás proveniente de um biodigestor obtido a partir de vísceras de peixe e esterco bovino, como combustível de fornecimento de calor para o protótipo de motor stirling construído para este trabalho. Obteve-se, a partir de uma análise quantitativa dos dados mecânicos e térmicos do motor, uma eficiência média percentual de 19,99 % e velocidade média de 328,31 rpm.

**Palavras-chave:** Biodigestor; Motor Stirling; Energia.

### **INTRODUÇÃO**

Projetado pelos irmãos escoceses Robert e James Stirling em 1816, o motor Stirling é classificado como um motor de combustão externa bem diferente dos tradicionais motores de combustão interna ou motores a vapor, pois ele tem o potencial de utilizar qualquer fonte de calor como combustível podendo ainda ser mais eficiente do que o motor ciclo Otto e o ciclo diesel. Alguns protótipos construídos pela empresa holandesa Phillips nas décadas de 50 e 60 chegaram a índices de 45% de eficiência, superando facilmente os motores a gasolina, diesel e as máquinas a vapor (eficiência entre 20% e 30%) (HSU et al., 2003).

O princípio de funcionamento do motor é basicamente composto por um ciclo termodinâmico que engloba quatro fases e executado em dois tempos do pistão sendo elas: compressão isotérmica, aquecimento isovolumétrico, expansão isotérmica e resfriamento isovolumétrico. Esse princípio de funcionamento se aproxima muito do Ciclo de Carnot, no qual o máximo limite teórico de rendimento das máquinas térmicas foi definido. O motor stirling desperta a atenção em relação a sua simplicidade, pois o mesmo opera por duas câmaras a diferentes temperaturas que aquecem e resfriam um gás de modo alternado, promovendo

expansões e compressões cíclicas, fazendo com que os dois êmbolos ligados a um eixo em comum se movimentem (CRUZ, 2012).

O motor stirling é verdadeiramente multicomcombustível, podendo utilizar praticamente qualquer fonte energética: gasolina, etanol, metanol, gás natural, óleo diesel, biogás, gás liquefeito do petróleo (GLP), energia solar, calor geotérmico e outros. Sua maior desvantagem consiste na dificuldade de dar partida e variar sua velocidade de rotação rapidamente, sendo complicado seu emprego em veículos como carros e caminhões, embora modelos de propulsão híbrida (elétrico e motor térmico) possam ser viáveis (COSTA, 2013).

Neste viés, apresenta-se o biogás como um biocombustível semelhante ao gás natural, sendo uma fonte de energia renovável que pode ser obtida natural ou artificialmente, sendo inflamável e com poder calorífico semelhante a outros combustíveis. Constituído principalmente por dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e gás metano ( $\text{CH}_4$ ), sua produção depende de fatores como fermentação, temperatura, umidade, acidez e com a ausência de oxigênio para ser formado. Naturalmente é produzido pela ação de micro-organismo metanogênicos sobre restos de alimentos, esterco de animais, resíduos orgânicos de indústrias que trabalham com peixes e outros acúmulos de matéria orgânica. Já artificialmente pode ser produzido, medido e estocado por biorreatores químicos chamados de biodigestores anaeróbicos. (ROYA et al., 2011).

O biodigestor é um tanque onde está contida a matéria orgânica que será metabolizada por bactérias anaeróbicas, protegido do contato com o ar atmosférico, onde será obtido o biogás e um biofertilizante decantado no fundo do reator (AMBIENTE BRASIL, 2009). Este biofertilizante melhora a qualidade biológica, química e física do solo com sua aplicação, obtendo um melhor índice de fixação do nitrogênio pela ação dos microrganismos deste (bactérias nitrogenadoras), mesmo contendo alguns nutrientes já solubilizados. O teor de carbono presente na biomassa diminui através da digestão no interior do reator aumentando sua capacidade de fertilização. O biofertilizante atua na função de corretor da acidez tendo um nível de pH em torno de 7,5 (DOTTO. et al., 2012).

O objetivo do presente trabalho é utilizar o biogás proveniente de um biodigestor, a partir de vísceras de peixes e esterco bovino, como combustível para fornecimento de calor a um protótipo de motor stirling construído durante a pesquisa, observando a eficácia deste sistema de conversão energética através de parâmetros térmicos a serem analisados durante o funcionamento do motor.

## **OBJETIVO**

Avaliar a viabilidade de utilização do biogás gerado a partir de um protótipo construído de materiais recicláveis em alimentar um protótipo de motor Stirling artesanal.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Os materiais utilizados bem como a metodologia aplicada para desenvolvimento da pesquisa se dividiram, basicamente, em duas partes: biodigestor e motor Stirling.

### **Materiais utilizados para o biodigestor**

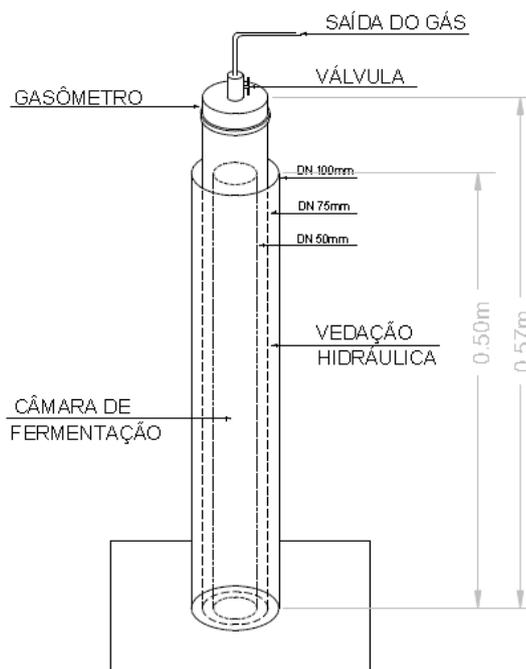
Para construção do biodigestor, foram utilizados materiais potencialmente recicláveis como canos de policloreto de vinila (PVC), tampas, mangueiras, plataforma de madeira dentre outros (Tabela 1).

**Tabela 1.** Materiais utilizados para construção do biodigestor.

Material	Quantidade	Dimensões
Cano de PVC	3	5 cm; 7,5 cm; 10 cm
Tampões de cano	2	7,5 cm; 10 cm
Registro tipo esfera	1	½ polegada
Mangueira	1	Unid
Plataforma de madeira	1	Unid
Cola de cano	1	Unid
Cola silicone	1	Unid
Resina epóxi	1	Unid

### Métodos de concepção e funcionamento do biodigestor

O protótipo de reator anaeróbico foi concebido com tubos coaxiais de diferentes diâmetros, um mais interno de 5 cm para a câmara de fermentação da matéria orgânica e outro mais externo de 10 cm, ambos medindo 50 cm de altura. Entre os tubos de 5 e 10 cm efetuou-se o preenchimento do espaço vazio com água para essa vedação hidráulica. Um terceiro tubo de 7,5 cm por 57 cm de altura para o acúmulo do gás (gasômetro), foi posicionado por entre os outros dois canos com o lado superior tampado, mergulhado em um selo d'água externo que impede o vazamento do biogás para a atmosfera (Figura 1), reduzindo as perdas durante o processo de produção e elevando verticalmente o gasômetro à medida que a concentração de biogás aumentava dentro do vaso de reação.



**Figura 1.** Esquema ilustrativo do projeto do biodigestor utilizando tubos de PVC. Fonte: Autoria própria.

Uma válvula tipo esfera de 1/2 polegada foi acoplada ao seu topo para a retirada do biogás. A medição do volume de biogás produzido foi realizada com o auxílio de uma fita métrica que marcou a altura da elevação do cilindro superior. Por fim uma mangueira foi conectada ao registro visando a condução do biogás até a saída onde será realizada a combustão.

Por se tratar de um biodigestor do tipo batelada construído com uma capacidade máxima de 981,25 cm<sup>3</sup> de material orgânico, seu abastecimento era feito apenas uma única vez, mantendo sua fermentação por um período adequado e após o término do período efetivo de produção de biogás o material foi descarregado.

Para determinar o volume da câmara de fermentação foi utilizada a fórmula de sólidos geométricos conforme observado na Equação 1.

$$V = \pi.r^2.h \quad (1)$$

Onde possuía um raio 2,5 cm e media 50 cm de altura, portanto o reator suporta um volume de 981,25 cm<sup>3</sup>.

Para identificar possíveis diferenças estatisticamente significativas na produção de biogás, na utilização de vísceras frescas e congeladas realizou-se o teste do Qui-quadrado ( $\chi^2$ ) com o nível de significância ( $\alpha$ ) de 5% utilizando a fórmula observada na Equação 2.

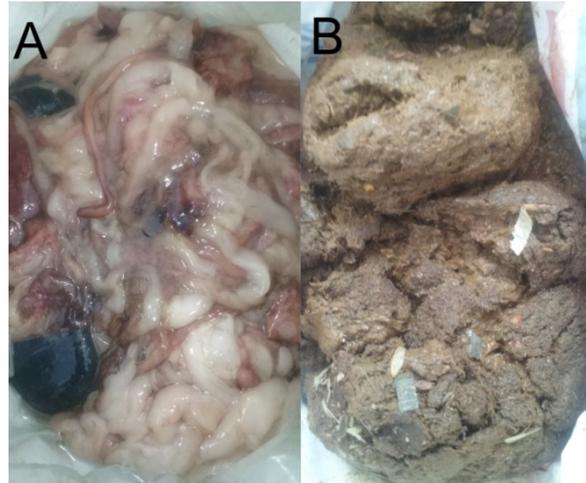
$$\chi^2 = \sum (Fo - Fe)^2 / Fe \quad (2)$$

Onde Fo é a frequência observada da medição em cm da elevação do cilindro superior e Fe é a frequência esperada .

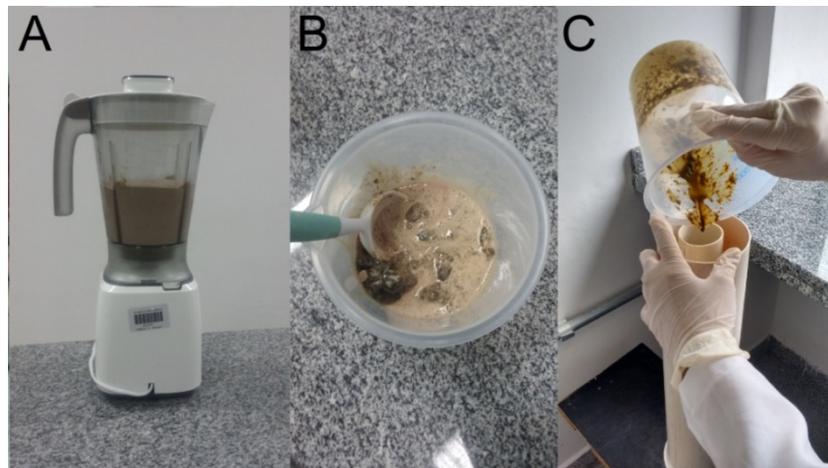
A temperatura ambiente foi aferida com o auxílio de um termômetro de mercúrio com faixa de temperatura de 20 a 100°C, não sendo possível aferir a temperatura interna do protótipo, o pH e nem os outros gases produzidos devido à falta de equipamento necessário para adquirir esses dados.

A biomassa utilizada para produção de biogás foi composta por misturas gravimétricas de 40, 50 e 70% (em massa) da capacidade total do reator, colocadas no interior do duto de 5 cm, apresentando proporções de vísceras e esterco bovino de 1:1 (g/g), composto por 200 g de cada no primeiro (vísceras frescas) e 250 g de cada no segundo experimento (vísceras congeladas por duas semanas), e de 20% de esterco em relação às vísceras, contendo 500 g de vísceras e 100 g de esterco no primeiro e 400 g de vísceras com 20 g de esterco no segundo experimento (Figura 2). O esterco foi misturado às vísceras por possuir os microorganismos responsáveis pelas etapas da digestão anaeróbica.

O material foi devidamente pesado e as vísceras trituradas no liquidificador visando aumentar a superfície de contato, para facilitar a mescla com o inóculo devido a sua forma pastosa. As vísceras e o esterco bovino foram misturados em um béquer e com o auxílio de uma colher, em seguida colocados na câmara de fermentação da matéria orgânica (Figura 3). Posteriormente foi adicionado o cilindro superior para o depósito do gás e em seguida a vedação hidráulica. O conteúdo foi mantido no reator por cerca de 10 dias sobre controle da variação de produção pela fita métrica.



**Figura 2.** Material utilizado como fonte de carbono. (A) Vísceras frescas. (B) Esterco bovino. Fonte: Autoria própria, 2017.



**Figura 3.** Preparação do afluente. (A) Vísceras frescas trituradas. (B) Mistura das vísceras com o esterco. (C) Alimentação do biodigestor. Fonte: Autoria própria, 2017.

#### **Materiais utilizados para o motor stirling**

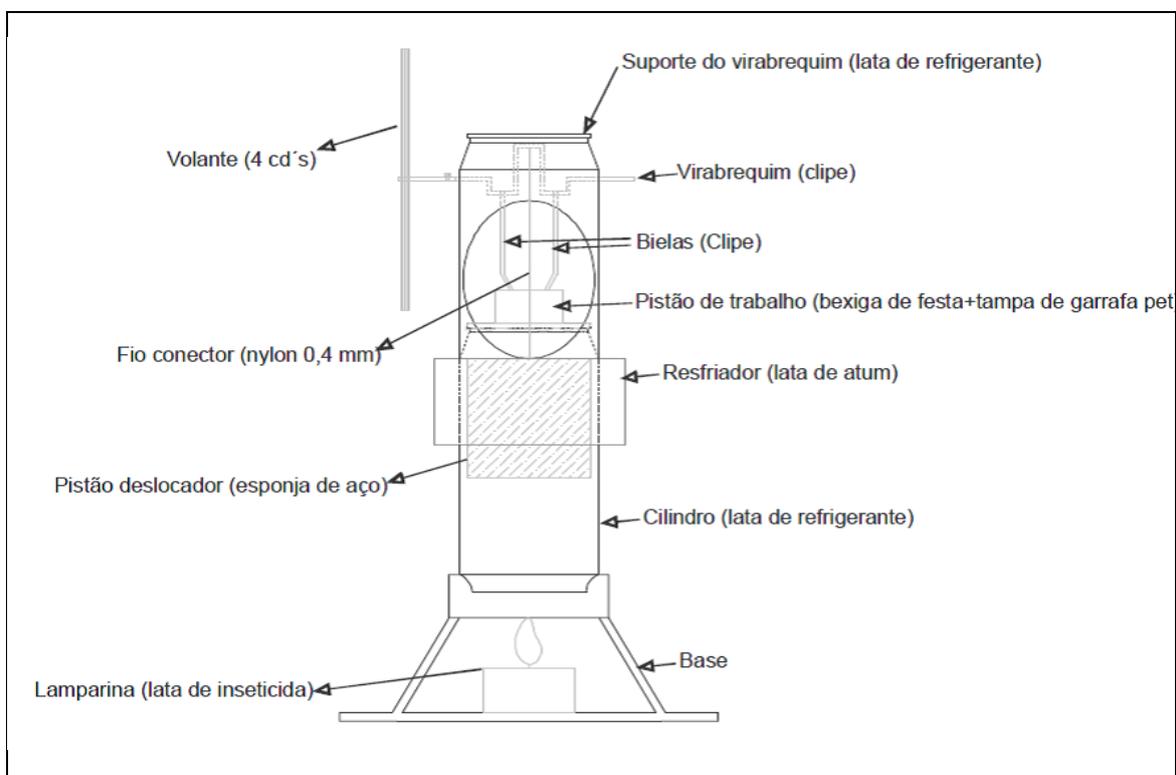
Os materiais utilizados para a construção do motor Stirling desta pesquisa estão listados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Materiais utilizados para construção do biodigestor.

Material	Quantidade
Latas de alumínio (refrigerante)	02 unidades
Lata de atum	01 unidade
Lata de leite	01 unidade
Esponjas de aço	02 unidades
Clipes 8/0	02 unidades
Fio de náilon 0,4 mm	01 metro
Partes metálicas de uma régua sindal	05 unidades
Cola do tipo resina epóxi	01 unidade
Cola de silicone para altas temperaturas	01 unidade
Cds para eixo de transmissão	04 unidades
Bexiga	01 unidade

### Concepção do motor Stirling

O motor stirling foi confeccionado com base na Figura 4 e a Figura 5 apresenta o motor depois de finalizado.



**Figura 4.** Montagem do motor Stirling. Fonte: Autoria própria, 2017.

Para a construção do motor primeiramente foi confeccionado o cilindro e o resfriador de calor no qual foi retirada a parte superior da latinha de refrigerante juntamente da parte

inferior da lata de atum deixando-as vazadas para que fosse feita a colagem das duas. A função do cilindro é de dar suporte ao pistão para comprimir os gases, e o resfriador para dar mais capacidade térmica à fonte fria para que a mesma não aqueça rapidamente. Em seguida foi construído o pistão deslocador com a utilização de clipe, esponja de aço e um fio de náilon, sua principal função é de deslocar a massa de ar acima dele para que comprima a bexiga realizando movimento.

A confecção do pistão de trabalho se deu através de uma bexiga, fecho de garrafa pet com tampa e clipe, seu objetivo é dar força para girar o virabrequim, realizando trabalho. Para confecção do virabrequim foi alinhado um clipe para fazer marcações e dobrá-las em formatos de virabrequim para conectar o pistão de trabalho e o pistão deslocador. O suporte do virabrequim foi construído através da retirada da parte inferior e lateral da lata de alumínio e sua função é de estabilizar o conjunto (pistão de trabalho, pistão deslocador e virabrequim). O volante foi produzido por meio da união de 4 CDS, régua sindal e cola do tipo resina epóxi sendo sua função é de estabilizar o movimento do virabrequim. E por fim foi confeccionado o suporte do motor com lata de leite.



**Figura 5.** Motor Stirling após finalização da montagem. Fonte: Autoria Própria.

**Equipamentos utilizados para medição**

As medições para estimativa da eficiência na utilização do biogás aplicado na combustão para fonte de calor no motor stirling tipo beta construído foi dada a partir das medições dos parâmetros térmicos e mecânicos obtidos através do uso dos equipamentos de medição apresentados na Tabela 03.

**Tabela 3.** Equipamentos e as medições realizadas

Equipamento	Medição
Pirômetro Raytek, RAYMX4PB	Temperatura das fontes quente e fria durante o funcionamento do motor (°C)
Tacógrafo PROVA TDR-800	Velocidade de rotação do motor (rpm)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

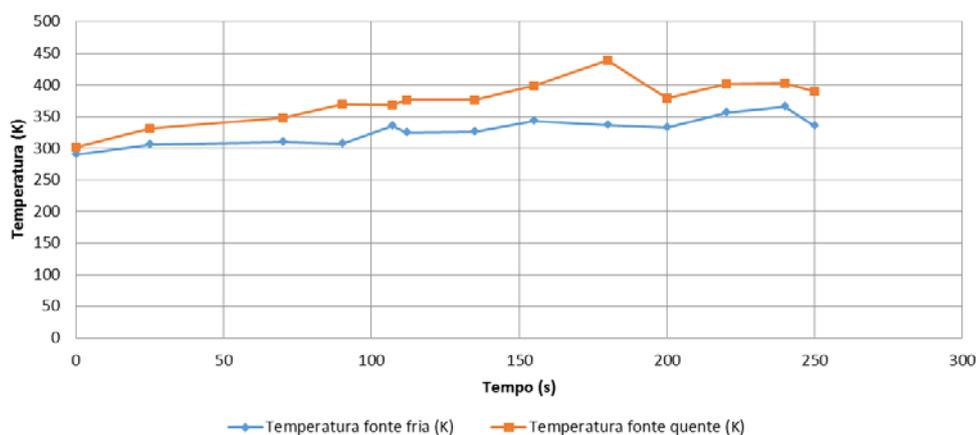
O modelo do reator anaeróbico utilizado para obtenção de biogás mostrou eficácia em seu funcionamento, visto que se pôde comprovar a existência do gás em questão através da queima dos fluidos provenientes do biodigestor, conforme Figura 06.



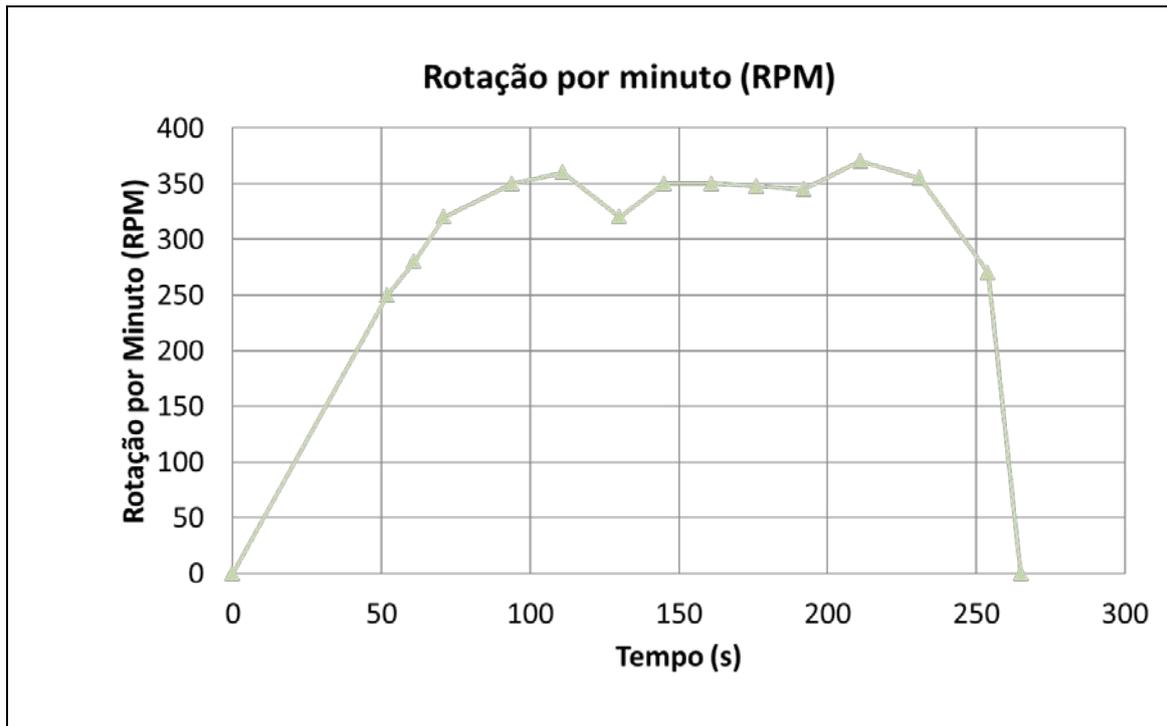
**Figura 6.** Queima do gás proveniente do biodigestor. Fonte: Autoria Própria

Alimentando o motor Stirling com o calor obtido a partir da queima do biogás observou-se os parâmetros de temperatura nas fontes quente e fria e a rotação por minuto (rpm) do volante acoplado ao motor utilizado. Os resultados são mostrados nos Gráficos 1 e 2.

### TEMPERATURA x TEMPO



**Gráfico 1.** Medições das temperaturas das fontes quente e fria do motor Stirling. Fonte: Autoria Própria.



**Gráfico 2.** Medição da velocidade de rotação do motor stirling. Fonte: Autoria própria.

A partir dos resultados obtidos, observa-se que a diferença entre as temperaturas das fontes quente e fria variou consideravelmente durante o funcionamento do motor, sendo que o mesmo teve sua rotação estabilizada com cerca de 100 segundos em aproximadamente 350 rpm. Com os valores mensurados, foram elaborados os cálculos da média de eficiência percentual e rotação por minuto que são apresentados na Tabela 04.

**Tabela 4.** Cálculo da média de eficiência percentual e rotação por minuto.

Parâmetro	Valor
Eficiência Percentual Média	17,99
Rotação por Minuto Média	328,31 rpm

## CONCLUSÃO

O motor stirling tipo beta construído funcionou conforme esperado utilizando a energia do biogás proveniente do biodigestor de forma eficaz, conseguindo converter com sucesso a energia química em mecânica a partir da obtenção de calor através da queima do biocombustível em questão.

A partir dos dados mensurados durante o funcionamento do motor stirling, obteve-se os valores de rotação, temperatura das fontes quente e fria e os valores de eficiência do motor. O valor médio de eficiência do motor e de rotação por minuto durante o tempo de funcionamento do mesmo utilizando biogás como combustível foi de 17,99% e 328,31 rpm respectivamente.

A sistemática sustentável de produção do biogás, a partir da utilização de resíduos orgânicos e posterior utilização do calor proveniente da queima deste gás no motor stirling, se mostrou eficaz, ressaltando ainda a possibilidade de reuso e reutilização de materiais para a construção de ambos os sistemas em nível de protótipo.

**REFERÊNCIAS**

AMBIENTE BRASIL. Biodigestores. 2009. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>>. Acesso em: 08 mar. 2017.

COSTA, J. M. S. **Metodologia Simplificada para a Análise Termoeconomica de Sistemas de Cogeração como Motor Stirling**. 149 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Minho, Escola de Engenharia, 2013.

CRUZ, V. G. **Desenvolvimento experimental de um motor Stirling tipo gama**. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2012.

DOTTO, R. B.; WOLFF, D. B. Biodigestão e produção de biogás utilizando dejetos bovinos. **Série: Ciências Naturais e Tecnológicas**, v. 13, n. 1, p. 13-26, 2012.

HSU, S.T.; LIN, F.Y.; CHIOU, J.S. Heat-transfer aspects of Stirling power generation using incinerator waste energy. **Renewable Energy**, v. 28, p. 59-69, 2003.

ROYA, B.; FREITAS, E.; BARROS, E.; ANDRADE, F.; PRAGANA, M.; SILVA, D. J. A. Biogás: uma energia limpa. **Revista Eletrônica Novo Enfoque**, v. 13, n. 13, p. 142-149, 2011.