

## DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO DE GASÔMETRO PARA QUANTIFICAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE BIOGÁS

**Rafaela Ribeiro Cunha**  
Universidade de Taubaté  
rafaela.rc@hotmail.com

**Ederaldo Godoy Junior**  
Universidade de Taubaté  
godoyjr17@gmail.com

**Caio Perez Giacaglia**  
Universidade de Taubaté  
caio.perez97@hotmail.com

**Resumo.** A utilização de fontes de energias renováveis é uma medida de colaborar com a redução do aquecimento global. O biogás gerado a partir de resíduos orgânicos é uma fonte de energia em franca expansão. De encontro com este propósito, apresentamos uma solução para a utilização de um gasômetro automatizado de baixo custo para armazenamento e quantificação exata da produção de biogás em sistemas de baixa vazão. O gasômetro proposto para fins laboratoriais em escala reduzida, do tipo telescópico, foi confeccionado com garrafas PET e materiais de baixo custo e a automatização foi feita utilizando a plataforma Arduino. O sistema gasômetro é composto por um gasômetro principal, um gasômetro auxiliar, válvulas solenoides na entrada e na saída do gasômetro principal, um sensor ultrassônico para indicar a distância de abertura e fechamento das válvulas, um display LCD para indicar a quantidade de biogás utilizado e um Arduino para controlar os componentes eletrônicos. Os testes foram realizados simulando o biogás com o ar de um compressor de aquário. Inúmeros testes foram aplicados, inclusive um teste de robustez de 92 ciclos que apresentou um resultado bastante satisfatório para o sistema. O sistema ainda deve ser testado com biogás, porém pode-se concluir que serve para medição exata do biogás em gasômetros do tipo telescópico.

**Palavras chave:** Biogás. Gasômetro. Medição.

**Abstract.** The use of renewable energy sources is a measure of helping to reduce global warming. Biogas generated from organic waste is a booming energy source. To this end, we present a solution for the use of a low cost automated gasometer for accurate storage and quantification of biogas production in low flow systems. The gasometer proposed for small-scale, telescopic-type, was made with PET bottles and low-cost materials and automation was done using the Arduino platform. The gasometer system consists of a main gasometer, an auxiliary gasometer, solenoid valves at the inlet and outlet of the main gasometer, an ultrasonic sensor to indicate the distance to opening and closing the valves, an LCD display to indicate the amount of biogas used and an Arduino to control electronic components. The tests were performed simulating the biogas with the air of an aquarium compressor. Numerous tests were applied, including a test of robustness of 92 cycles that presented a satisfactory result for the system. The system still needs to be tested with biogas, but it can be concluded that it is used for accurate measurement of biogas in telescopic type gasometers.

**key words:** Biogas. Gasometer. Measurement.

### 1. INTRODUÇÃO

De forma a tratar sobre como aumentar a oferta de energias renováveis, o artigo vai abordar a Biomassa, ou, mais precisamente, a geração de energia através do combustível gerado na forma gasosa, o biogás.

O biogás é formado pela decomposição anaeróbia de material orgânico e estes materiais utilizados para a geração do biogás estão presentes em abundância no nosso dia a dia. São eles: resíduos agrícolas, madeira, bagaço de cana-de-açúcar, esterco, cascas de frutas e restos animais e vegetais.

São exemplos de potenciais fontes de geração de biogás a serem exploradas: aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto. No Brasil já temos alguns exemplos de aterros e estações de tratamento que utilizam o biogás

para gerar energia. Nestes casos, a geração de biogás é alta, devido a grande quantidade de material orgânico acumulado.

Porém, temos uma deficiência quando se trata de baixas vazões, como seria o caso da aplicação da geração de energia em uma escola, ou um condomínio residencial, por exemplo. Os biodigestores para estes casos, não valem a pena, devido ao alto custo.

O objetivo deste trabalho é identificar uma solução prática e de baixo custo para a automação de um gasômetro de armazenamento de biogás em sistemas de baixa vazão, que permita fazer a contagem do biogás queimado/utilizado, para a obtenção de créditos de carbono.

A denominação gasômetro significa medidor de gás, porém no Brasil é sinônimo de armazenador de gás. O armazenador de gás tipo telescópio é chamado de gasômetro telescópio.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Utilizamos como referência para a elaboração deste trabalho, o estudo realizado por Marcelino & Godoy Junior (2011) e Simões (2012).

O gasômetro tipo telescópio representado na Fig. 1, projetado por Marcelino & Godoy Júnior (2011) foi construído com dois copos cilíndricos, um de diâmetro maior (2) e um menor (5), encaixados de maneira invertida, sendo o menor, a parte móvel, chamado campânula (5). A campânula é submersa em água, e com um lastro (3) instalado na parte inferior para evitar o tombamento quando cheia de biogás (18). Possui um tubo de entrada (1) e um de saída do biogás. A saída é realizada por um tubo de material flexível (9), que se retrai conforme o gasômetro enche.

A saída é controlada através de uma válvula eletromecânica (12) tipo ON/OFF, normalmente fechada e impede a saída do biogás enquanto o gasômetro não está cheio. Quando a campânula está cheia, a válvula se abre (Figura 1).

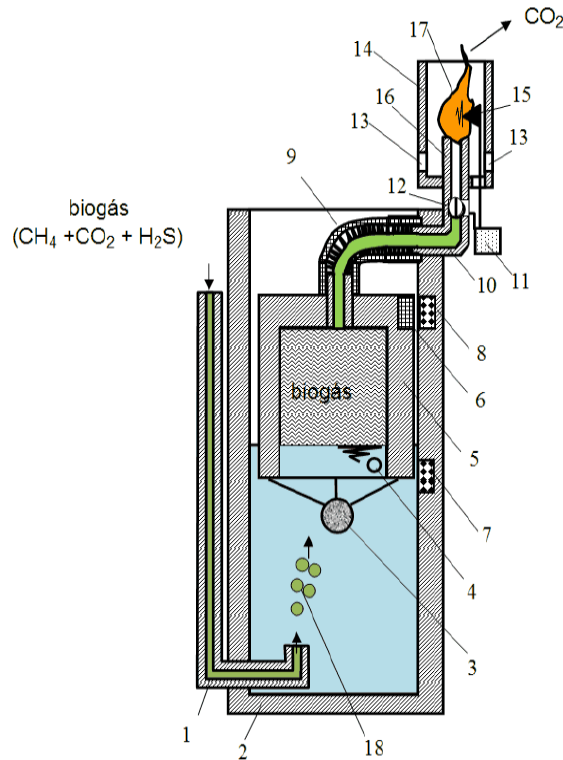
O acionamento da válvula (12) é feito a partir de uma lógica de atuação de duas micro chaves acionadas por um ímã permanente (6) fixado na parte superior da campânula (5). As micro chaves são instaladas no copo cilíndrico de diâmetro maior (2), uma na parte inferior (7), que indica o gasômetro vazio (GV) e outra na parte superior (8), que indica o gasômetro cheio (GC).

Assim que o gasômetro está cheio, indicado pela chave GC (8), a válvula eletromecânica (12) é acionada e libera o biogás e aciona o ignitor eletrônico (11), gerando faíscas no eletrodo (15) garantindo a queima com chama contínua (17).

O tubo sanfonado (9) está conectado a um tubo rígido (10), que por sua vez está conectado à válvula (12) e a mesma, conectada a uma biqueira queimadora de biogás (16). A biqueira está dentro de um protetor de chamas (14). Após o início da queima, a operação continua até que a micro chave (7) seja acionada novamente, indicando o gasômetro vazio. Neste momento o ignitor (11) é desligado e a válvula (12) é fechada, iniciando o ciclo novamente.

O sistema ainda dispõe de uma válvula de segurança (4), que é um furo na parte inferior da campânula, e na ausência de energia elétrica, quando o volume do biogás ultrapassar a capacidade máxima, é liberado para a atmosfera sem queima.

Figura 1 - Sistema queimador registrador de biogás cheio



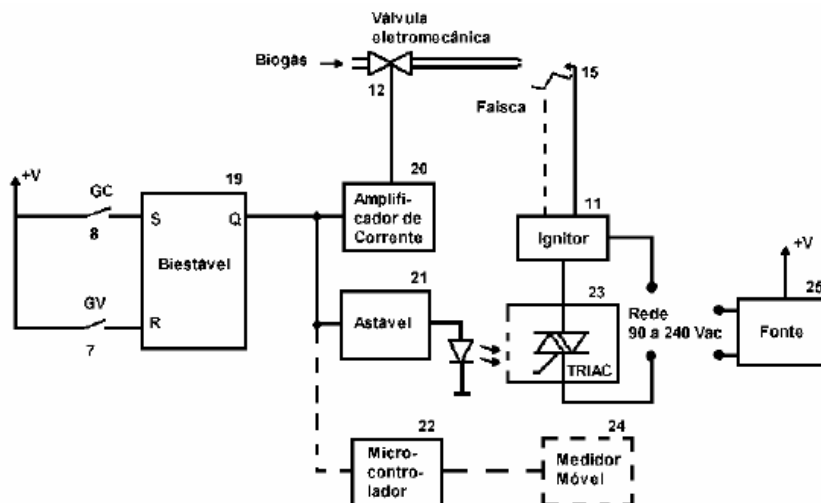
Fonte: MARCELINO & GODOY JUNIOR, 2011)

O gasômetro de Marcelino & Godoy Junior (2011) apresenta dois sistemas de interface: interface do ignitor e interface da válvula. O sistema de interface do ignitor não será abordado neste trabalho.

O sistema de interface da válvula conta com um microcontrolador, que faz o acionamento da válvula responsável pela liberação do gás contido na campânula, através de um transistor. A válvula utilizada é comumente usada em máquinas de lavar roupas. Uma válvula com alimentação de 12V, confeccionada em material PVC.

O sistema de controle de Marcelino & Godoy Júnior (2011) é representado na Fig. 2. A parte tracejada referente ao microcontrolador e medidor móvel é opcional e possibilita a contabilização do volume de gás queimado e a comunicação serial com o meio externo.

Figura 2 - Diagrama de blocos do circuito controlador do sistema



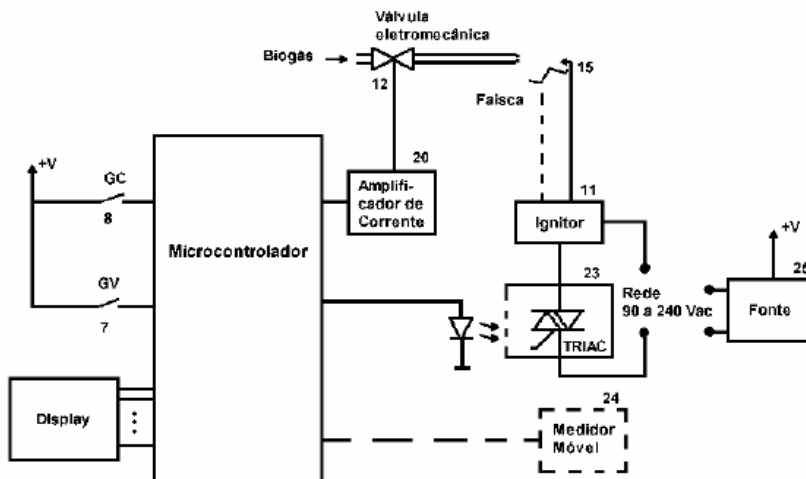
Fonte: MARCELINO & GODOY JUNIOR, 2011

O trabalho de Simões (2012) apresenta uma melhoria do trabalho de Marcelino & Godoy Júnior (2011) referente ao sistema de controle, onde propõe que a parcela referente aos circuitos biestável e estável seja substituída por um micro controlador (Fig. 3).

O micro controlador quantifica o número de vezes que o gasômetro é esvaziado, substituindo também o micro controlador opcional no trabalho anterior.

Tem as funções de controle de armazenamento, queima e contabilização do biogás queimado, além da apresentação do resultado através de um display de cristal líquido (outra evolução em relação ao projeto anterior). Tudo isso utilizando apenas um micro controlador de baixo custo.

Figura 3 - Diagrama de blocos do circuito controlador do módulo controlador



Fonte: SIMÕES (2012)

### 3. EVOLUÇÃO PROPOSTA DO GASÔMETRO VISANDO A MEDIÇÃO EXTA DO BIOGÁS PRODUZIDO

O projeto aqui apresentado propõe uma evolução em todo o sistema, tanto na parte mecânica quanto na parte de controle. A Fig. 4 representa o sistema completo, que será detalhado posteriormente.

Figura 4 - Sistema gasômetro proposto



Como observado anteriormente, o projeto de Marcelino & Godoy Junior (2011) apresenta uma campânula com um lastro que evita o tombamento, mas que pode gerar repique nas micro chaves de fim de curso devido a oscilação da campânula na água. A fim de evitar estas oscilações, é sugerido um guia para a campânula. A entrada e a saída do biogás também foram alteradas para a parte superior da campânula.

O guia é confeccionado em um tubo de cobre com um diâmetro maior, fixado em uma placa de nylon que serve como base e é colada no fundo do copo fixo do gasômetro.

A campânula possui a entrada e a saída do biogás. Duas conexões são fixadas na parte superior da campânula, por onde são conectadas as mangueiras de silicone. Ainda possui a outra parte do guia, que é um tubo de diâmetro um pouco menor que o da base e é instalado na tampa da campânula através de conexões de latão. Este é encaixado dentro do outro tubo e evita que a campânula oscile ou tombe quando estiver cheia.

A campânula também conta com uma superfície instalada na parte superior que serve como referência para o sensor ultrassônico (que será descrito na próxima seção) para a medição da distância. E há ainda um furo na parte inferior da mesma, que funciona como uma válvula de segurança, caso o volume de biogás armazenado ultrapasse a capacidade máxima do gasômetro devido a alguma falha nas válvulas ou no sistema de comando. Neste caso o biogás é liberado para a atmosfera, sem queima.

Também como melhoria mecânica, foi instalado um gasômetro auxiliar antes do gasômetro principal. A função do gasômetro auxiliar é garantir uma contagem mais precisa do volume de biogás queimado, pois enquanto o gasômetro principal é esvaziado, uma válvula fecha e o isola e então o biogás é armazenado no gasômetro auxiliar.

O gasômetro auxiliar é simples, sem sensores e sem guia. Possui duas mangueiras de silicone instaladas na parte superior, uma para a entrada do gás proveniente do biodigestor e outra de saída para a válvula normalmente aberta. Assim como no gasômetro principal, há um furo na parte inferior da campânula que funciona como uma válvula de segurança, caso o volume de biogás armazenado ultrapasse a capacidade máxima do gasômetro devido a válvula na saída do gasômetro auxiliar travar na posição fechada.

Na entrada e na saída do gasômetro principal foram instaladas duas válvulas solenoides com corpo de latão, alimentadas por 12 Volts. A válvula de entrada é normalmente aberta e a válvula de saída normalmente fechada.

Na evolução do sistema de controle (Fig. 5), o microcontrolador foi substituído por um Arduino (1). Ele foi escolhido por ser flexível, relativamente barato, fácil de utilizar por possuir inúmeras bibliotecas disponíveis e por possuir código aberto. Também, por ser considerada uma plataforma e não um hardware, pois possui um ambiente de desenvolvimento IDE (Integrated Development Environment) que utiliza linguagem C/C++, pode ser baixada gratuitamente no site oficial do Arduino e é compatível com Windows, Mac OS X, e Linux. Além disso, não necessita de equipamentos extras. Somente um cabo USB (Universal Serial Bus).

A segunda solução proposta é a substituição das micro chaves e do imã permanente do sistema anterior por um Sensor Ultrassônico (5).

O sensor ultrassônico HC-SR04 (5) permite a leitura de distâncias entre 2 centímetros e 4 metros com boa precisão. É instalado na parte superior do copo fixo do gasômetro e seu ponto de referência é a superfície instalada na parte superior da campânula.

Também fazem parte do sistema de controle do gasômetro, um Módulo com dois relés de 5V (2) que controlam as válvulas solenoides de entrada e saída.

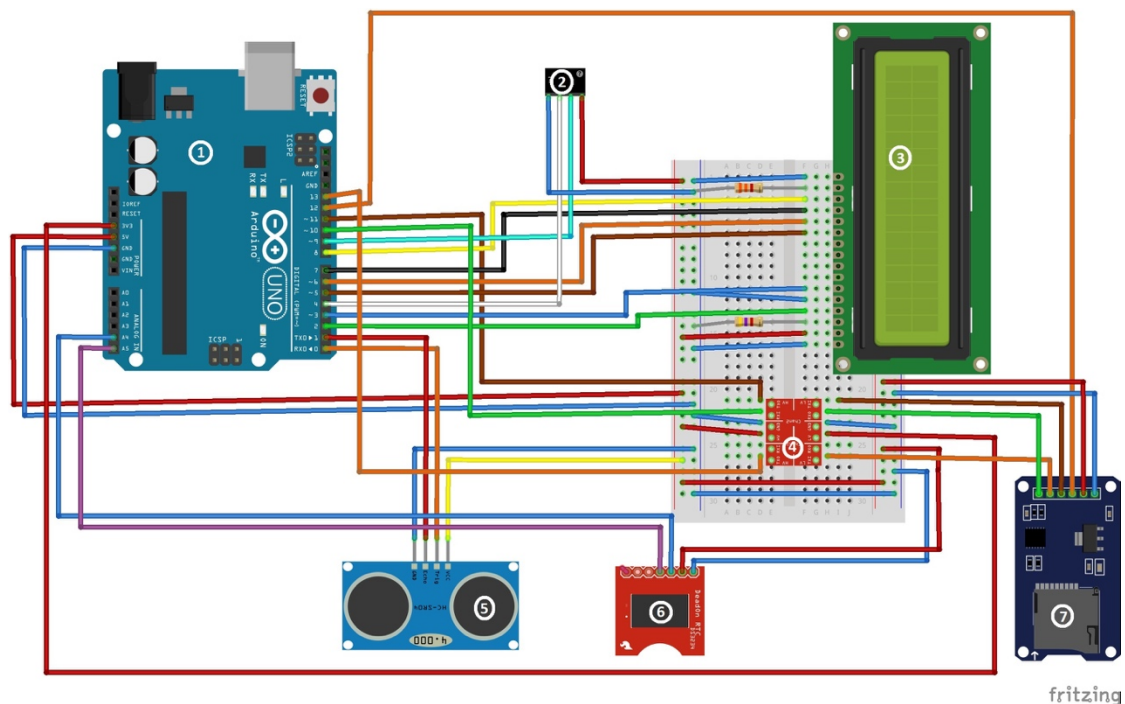
Além das mudanças descritas, foram adicionados um RTC - Real Time Clock - Ds3231 (6), que é um relógio de tempo real e com sensor de temperatura embutido (o RTC fornece informações de data, hora e a temperatura na faixa de 0 a 40°C) e também um leitor/gravador de Micro SD Card (7). Em complemento com o RTC ele grava os dados do sistema a cada abertura e fechamento das válvulas. Os dados gravados são: Data, Hora, Estado do Gasômetro (cheio ou vazio), Temperatura e Volume Total Queimado. Com estes componentes, é possível garantir uma maior confiabilidade ao sistema, uma vez que, na falta de energia elétrica, os dados já estão gravados no SD card, possibilitando a recuperação dos mesmos.

Para o correto funcionamento do leitor/gravador de Micro SD Card (7), foi necessário a inclusão de um Conversor de Nível Lógico 5V - 3,3V (6), pois o módulo cartão SD trabalha com nível de sinal de 3,3V.

O sistema continua contando com um Display LCD 16x2 (3) para a apresentação da quantidade de volume de biogás queimado.



Figura 5 - Sistema de Controle do Gasômetro



#### 4. DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO

Na condição inicial, os dois gasômetros do sistema vazios. Primeiramente o biogás entra pelo gasômetro auxiliar, passa pela válvula normalmente aberta e entra no gasômetro principal. O gasômetro principal vai enchendo e quando atinge a altura de 18 cm programada no Arduino (distância medida pelo sensor ultrassônico), é emitido um comando para um relé fechar a válvula de entrada e o outro relé abrir a válvula de saída. Então, o biogás é enviado para a queima, esvaziando o gasômetro principal.

Enquanto o gasômetro principal esvazia, o gasômetro auxiliar vai sendo abastecido e, assim que o gasômetro principal está vazio (sensor ultrassônico indicando 3 cm), um novo comando é enviado pelo Arduino para abrir a válvula de entrada e fechar a válvula de saída.

Neste momento, o Arduino incrementa o volume de biogás e apresenta o valor no Display LCD. O ciclo se inicia novamente.

Cada vez que os relés comandam para abrir ou fechar as válvulas, um comando é enviado para o módulo SD card para gravar os dados.

#### 5. RESULTADOS

Os testes foram executados com um compressor de ar de aquário na entrada do gasômetro auxiliar, simulando a baixa vazão do biogás. Nesta condição, foi realizado um teste de endurance de 92 ciclos, totalizando aproximadamente 12 horas e 30 minutos.

Os resultados se mostraram satisfatórios e todo o sistema se comportou conforme esperado. Cada ciclo levou aproximadamente 8:11 minutos, e, em média, 05:17 minutos para encher o gasômetro principal e 02:54 minutos para esvaziá-lo.

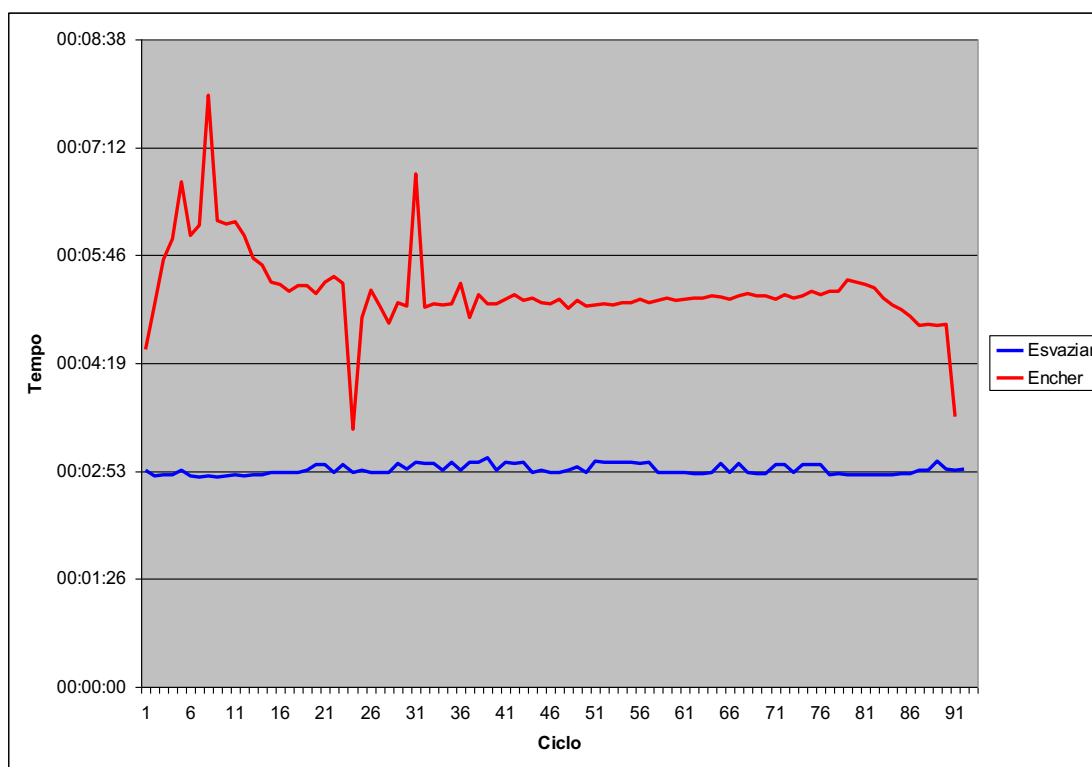
A Fig. 6 traz uma amostragem para os tempos de cada ciclo, o tempo de enchimento e de esvaziamento do gasômetro principal (os tempos foram gravados no SD Card), e a Fig. 7 ilustra o gráfico de como o sistema se comportou durante todo o teste.

O volume de gás útil do gasômetro equivale a 4712,39 cm<sup>3</sup> (valor calculado a partir das medidas da garrafa - 10 cm diâmetro e 15 cm de altura). O volume de gás total armazenado durante o teste foi 433.539,90 cm<sup>3</sup>.

Figura 6 – Tempos (minutos) de 92 ciclos

Data:	Hora:	Temperatura:	Gasômetro	Volume:
8/06/2018	20:54:48	22.25 °C	Cheio	4712.39 cm <sup>3</sup>
8/06/2018	20:57:41	22.25 °C	Vazio	
8/06/2018	21:02:11	22.25 °C	Cheio	9424.78 cm <sup>3</sup>
8/06/2018	21:05:00	22.25 °C	Vazio	
8/06/2018	21:10:06	22.25 °C	Cheio	14137.17 cm <sup>3</sup>
8/06/2018	21:12:56	22.25 °C	Vazio	
8/06/2018	21:18:38	22.25 °C	Cheio	18849.56 cm <sup>3</sup>
8/06/2018	21:21:28	22.25 °C	Vazio	
8/06/2018	21:27:27	22.25 °C	Cheio	23561.95 cm <sup>3</sup>
8/06/2018	21:30:20	22.25 °C	Vazio	
8/06/2018	21:37:04	22.25 °C	Cheio	28274.34 cm <sup>3</sup>
8/06/2018	21:39:53	22.25 °C	Vazio	
8/06/2018	21:45:54	22.25 °C	Cheio	32986.73 cm <sup>3</sup>
8/06/2018	21:48:42	22.25 °C	Vazio	
8/06/2018	21:54:52	22.25 °C	Cheio	37699.12 cm <sup>3</sup>
...				
9/06/2018	08:28:56	19.75 °C	Vazio	
9/06/2018	08:33:58	19.75 °C	Cheio	405265.56 cm <sup>3</sup>
9/06/2018	08:36:49	19.75 °C	Vazio	
9/06/2018	08:41:46	20.25 °C	Cheio	409977.93 cm <sup>3</sup>
9/06/2018	08:44:39	20.25 °C	Vazio	
9/06/2018	08:49:28	20.00 °C	Cheio	414690.34 cm <sup>3</sup>
9/06/2018	08:52:21	20.00 °C	Vazio	
9/06/2018	08:57:11	20.25 °C	Cheio	419402.71 cm <sup>3</sup>
9/06/2018	09:00:12	20.00 °C	Vazio	
9/06/2018	09:05:01	20.25 °C	Cheio	424115.12 cm <sup>3</sup>
9/06/2018	09:07:55	20.00 °C	Vazio	
9/06/2018	09:12:45	20.25 °C	Cheio	428827.50 cm <sup>3</sup>
9/06/2018	09:15:38	20.25 °C	Vazio	
9/06/2018	09:19:14	20.75 °C	Cheio	433539.90 cm <sup>3</sup>
9/06/2018	09:22:08	20.25 °C	Vazio	

Figura 7 - Tempos de Enchimento e Esvaziamento do Gasômetro com Ar (Gás Simulado pelo compressor de ar de Aquário)



Na Figura 8, o display LCD indica o volume de biogás que passou pelo gasômetro principal (e que foi enviado para queima ou aproveitamento energético) após os 92 ciclos, totalizando um volume de 433.539,90 cm<sup>3</sup> de biogás.

Figura 8 - Volume total de biogás após 92 ciclos



A Figura 9, na direita ilustra o gasômetro a plena carga no funcionamento do sistema.

Figura 9 - Gasômetro principal completo





## 6. CONCLUSÃO

A substituição das duas micro chaves pelo sensor ultrassônico se mostrou bastante satisfatória, visto que o sensor tem uma boa precisão e evita o problema dos repiques apresentados no trabalhos de Simões (2012) apresenta uma melhoria do trabalho de Marcelino & Godoy Júnior (2011)

Outro problema que foi solucionado, foi o referente à contabilização do biogás queimado e/ou utilizado, uma vez que nos projetos anteriores, enquanto o gasômetro estava sendo esvaziado, a produção continuava acontecendo e conseqüentemente, abastecendo o gasômetro, causando uma imprecisão na quantificação do biogás. Com a utilização do gasômetro auxiliar, juntamente com uma válvula normalmente aberta na entrada do gasômetro principal, no momento que este está esvaziando, a válvula é fechada. Assim é possível quantificar o biogás corretamente. Além disso, a implementação de um gravador de cartão SD juntamente com o *Real Time Clocker*, proporciona uma maior confiabilidade ao sistema, visto que na falta de energia elétrica, os valores armazenados anteriormente, permanecem gravados no cartão.

A operação do gasômetro feita com o biogás simulado pelo compressor de ar de aquário se mostrou bastante satisfatória, pois, todos os componentes se comportado conforme esperado. Porém, o projeto ainda deve ser testado com o biogás.

## REFERÊNCIAS

- ((o))ECO. (26 de Fevereiro de 2015). O que é o Protocolo de Quioto. Disponível em ((o))eco: <<http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28947-o-que-e-o-protocolo-de-quioto/>>. Acesso em 03 de Abril de 2018.
- BIOMASSA & BIOENERGIA. (20 de Abril de 2016). Top 5 - Fontes limpas de energia. Disponível em Biomassa & Bioenergia: <<https://www.biomassabioenergia.com.br/imprensa/top-5--fontes-limpas-de-energia/20130121-115653-q332>>. Acesso em 03 de Abril de 2018.
- BIOMASSA & BIOENERGIA. (31 de Janeiro de 2018). Produção de energia elétrica a partir do biogás cresce 14% em 2017. Disponível em Biomassa & Bioenergia: <<https://www.biomassabioenergia.com.br/imprensa/producao-de-energia-eletrica-a-partir-do-biogas-cresce-14-em-2017/20180131-150528-a152>>. Acesso em 03 de Abril de 2018.
- GRANDELLE, R. (09 de Novembro de 2016). Temperatura média da Terra cresceu 1,02 grau Celsius desde século XIX. Disponível em O Globo: <<https://oglobo.globo.com/sociedade/sustentabilidade/temperatura-media-da-terra-cresceu-102-grau-celsius-desde-seculo-xix-18002272>>. Acesso em 10 de Outubro de 2017.
- JÚNIOR, E. G. (2010). Desenvolvimento e Avaliação de Uma Miniestação Ecoeficiente de Tratamento de Esgoto e Reuso de Águas, com Sistema Registrador Queimador, para Baixas Vazões de Biogás e Cogeração de Energia. Guaratinguetá - SP.
- MARCELINO, M. A., & JÚNIOR, E. G. (2011). Sistema armazenador e queimador automático com registro de volume de biogás queimado (PI 0902381-0 A2). Revista da Propriedade Industrial, 2095.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. (2017). Resenha Energética Brasileira. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético, Brasília - DF. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2017+-+ano+ref.+2016+%28PDF%29/13d8d958-de50-4691-96e3-3ccf53f8e1e4?version=1.0>>. Acesso em 11 de Abril de 2018.
- PALMIERE, S. E. (11 de Fevereiro de 2016). CLP versus Microcontrolador. Disponível em Embarcados: <<https://www.embarcados.com.br/clp-versus-microcontrolador/>>. Acesso em 17 de Abril de 2018.
- PROTOCOLO DE KYOTO. (s.d.). Aquecimento Global. Disponível em Protocolo de Kyoto: <<http://protocolo-de-kyoto.info/aquecimento-global.html>>. Acesso em 03 de Abril de 2018,
- SIMÕES, O. R. (2012). Queima Microcontrolada de Baixas e Inconstantes Vazões de Biogás para Estações de Tratamento de Esgoto. Taubaté - SP.
- THOMSEN, A. (02 de Setembro de 2014). O que é Arduino? Disponível em Filipeflop: <<https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>>. Acesso em 17 de Abril de 2018.