

AVALIAÇÃO DO TEMPO DE RESIDÊNCIA NA BIODIGESTÃO DO BAGAÇO DE MALTE

BRANDENBURG, Bárbara Luiza dos Santos¹, FREDDO, Letícia¹, CASSOL, Fabiano*¹

¹ Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Rua Jacob Reinaldo Haupenthal, 1580, Cerro Largo, RS, Brasil.

*Autor Correspondente: fabiano.cassol@uffs.edu.br.

RESUMO

Devido a crescente preocupação ambiental com a incorreta disposição de resíduos que podem prejudicar a saúde do meio ambiente e também a saúde humana, novas tecnologias foram desenvolvidas para reaproveitamento de resíduos. Uma das alternativas de disposição de resíduos orgânicos, que está muito presente na área de pesquisa, são os biodigestores. Frequentemente, os biodigestores são alimentados com excrementos animais, mas também pode ser feito uso de restos alimentícios ou então, como apresentado no seguinte estudo, restos da produção da indústria cervejeira. Com o objetivo de investigar a utilização de biodigestores para a produção de biogás, o presente trabalho visa explorar a biodigestão de resíduos da indústria cervejeira, sendo os resíduos gerados em maior quantidade no processo produtivo por esta indústria, o bagaço de malte. Como principal resultado obteve-se o tempo de residência do bagaço de malte (34 dias) e, assim, pode-se determinar a produção de volume de biogás de 0,00162 m³ para um quantitativo de 2kg de bagaço de malte.

Palavras chave: Biodigestor, biogás, bagaço de malte.

MALT BAGASSE BIO-DIGESTION RESIDENCE TIME EVALUATION

ABSTRACT

Due to the increasing environmental concern on the incorrect disposition of waste that can harm the environment health as well as human health, new technologies have been developed for waste recycling. One of the alternatives of organic residues disposition, present in the research area, is the bio-digesters. Often bio-digesters are fed with animal feces, but also can be made the use of food residues or, as shown in the following study, brewing industry production residue. With the objective of investigate the use of bio-digesters for the production of biogas, the present work aims to explore the waste from the brewery industry, being the malt bagasse the main waste generated in the production process by this industry. The main result was the residence time of the malt bagasse (34 days) and, thus, could be determined a production of biogas of 0.00162 m³ from a quantitative of 2 kg of malt bagasse.

Keywords: Bio-digester, biogas, malt bagasse.

INTRODUÇÃO

A tecnologia da biodigestão, conforme IAE (2005) foi desenvolvida com o objetivo de tratar resíduos e efluentes orgânicos, aproveitando a energia da biomassa. Dessa forma, permite-se recuperar a energia através da proficuidade do biogás e nutrientes, além de prevenir a poluição ambiental. Os biodigestores apresentam fácil entendimento e a população vem os adquirindo cada vez mais, além de serem a solução ideal para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos de diferentes tipos.

Processo bioquímico realizado por milhares de bactérias, que transformam a matéria orgânica em gases e biofertilizantes, chama-se decomposição da matéria orgânica ou digestão anaeróbica. Esse regime necessita da total ausência de oxigênio e consiste de um complexo de cultura mista de microrganismos, os quais são capazes de metabolizar materiais orgânicos complexos, como por exemplo carboidratos, lipídios e proteínas para produzir metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) e material celular. Como resultados dessa decomposição, então o biogás, uma mistura de gás carbônico e metano, e os biofertilizantes. Tais processos anaeróbicos são geralmente mais lentos, assim exigem maiores tempo de retenção (LIMA *et al.*, 2001).

Com relação a produção cervejeira, para cada litro de cerveja são necessários aproximadamente 0,3 kg de malte. O processo de produção da cerveja, compõe-se basicamente nas seguintes etapas: preparo do mosto (moagem do malte, maturação, filtração, fervura e clarificação), processo fermentativo e o acabamento da cerveja (filtração, carbonatação, modificações no aroma, sabor e cor, etc.) (AQUARONE, 1983).

Na preparação do mosto, segundo DIAS (2014), obtém-se uma solução aquosa de açúcares, a qual é obtida através da conversão do amido do malte em açúcares menores, sendo utilizada como substrato para as bactérias responsáveis pela fermentação. Assim, após o preparo do mosto, este é resfriado e filtrado, para a remoção de resíduos de grãos de malte e adjuntos.

O material retido no filtro, que utiliza como meio filtrante as próprias cascas de malte presentes no mosto, é denominado bagaço de malte. Este material é usado posteriormente para alimentar o biodigestor. Em seguida, é realizada a fervura do mosto, etapa que inativa as enzimas, coagula e precipita as proteínas, além de concentrar e esterilizar o mosto. Ao longo dessa etapa também é realizada a adição de aditivos, como lúpulo, caramelo, açúcar, mel e extratos vegetais, que proporcionam diferentes características organolépticas à cerveja (DIAS, 2014).

Posteriormente à fervura do mosto, de acordo com DIAS (2014), realiza-se a clarificação, no qual visa reter partículas remanescentes no mosto que possam comprometer a fermentação. Este estágio é efetuado, em geral, através de um processo de decantação hidrodinâmica realizada em um procedimento denominado *whirlpool*. Os resíduos provenientes desta etapa são chamados de trub grosso.

Desta maneira, percebe-se a importância do correto descarte do material residual, podendo este ser utilizado na produção de ração animal ou tratado diretamente na indústria, podendo ser utilizado para a geração de energia e disponibilizando ao final do processo como biofertilizante. O tratamento mais indicado de resíduos provenientes da indústria de alimentos consiste na utilização de biodigestores, sendo os modelos mais populares o biodigestor indiano (indicado na produção de biogás) e o biodigestor de modelo chinês (indicado na produção de biofertilizantes) (DEGANUTTI et al., 2002).

Para este trabalho, o sistema de alimentação do biodigestor será a batelada, ou seja, a matéria orgânica será introduzida, e então, se espera o processo cessar gerando um produto no final. O contrário disso poderia ser um sistema de alimentação contínuo, onde o resíduo seria introduzido com uma frequência pré-determinada de tempo (a cada 4 dias, por exemplo), para que sempre exista um produto sendo gerado. Para fins de pesquisa e monitoramento, o sistema a batelada foi escolhido devido a sua facilidade de interpretação de resultados.

2 DESENVOLVIMENTO E DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

O projeto foi desenvolvido no Laboratório de Fenômenos de Transporte da Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus* de Cerro Largo – RS. A produção de um biodigestor com resíduos de cervejaria tem o intuito de gerar energia limpa e renovável, além da utilização sustentável dos resíduos da atividade econômica. Para o desenvolvimento da proposta do estudo, objetivou-se a concepção de um biodigestor de escala laboratorial.

2.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a construção do biodigestor em escala laboratorial, foi utilizado um galão de poliestileno de alta densidade (HDPE 2) de 20 litros. Assim, foi acoplado saídas para recolher o gás produzido e também para drenagem dos fluidos. A Tabela 1 expõe os materiais utilizados, suas respectivas medidas e a quantidade utilizada na construção do biodigestor.

Tabela 1: Materiais empregados na estruturação do biodigestor.

MATERIAIS	MEDIDA	QUANTIDADE
Bombona HDPE 2	20 litros	1
Tê 90° PVC	Ø 20 mm	1
Mangueira de silicone	5 mm	5 metros
Espigão	Ø ½"	2
Cola para tubos PVC	-----	1
Cola de silicone	-----	1
Tubo PVC	Ø ½"	1
Registro de esfera em PVC 20 mm roscado	Ø 20 mm	1
Adaptador de flange 20 mm x ¾" soldável	Ø 20 mm	2
Registro de esfera borboleta ½" em PVC 20 mm	Ø 20 mm	2
Adaptador em PVC 20 mm x ¾"	Ø 20 mm	3

Fonte: Autores, 2017.

Na construção do biodigestor, efetuou-se um orifício de saída dos gases na bomba HDPE 2 de capacidade 20 litros, com um adicional em forma de "T", no qual acrescentou-se duas válvulas (Figura 1). As válvulas possuem como objetivo realizar a saída dos gases, para a medição de pressão e a saída até um sensor detector de gás MQ – 135, dentro de um kitassato bem vedado (Figura 2).

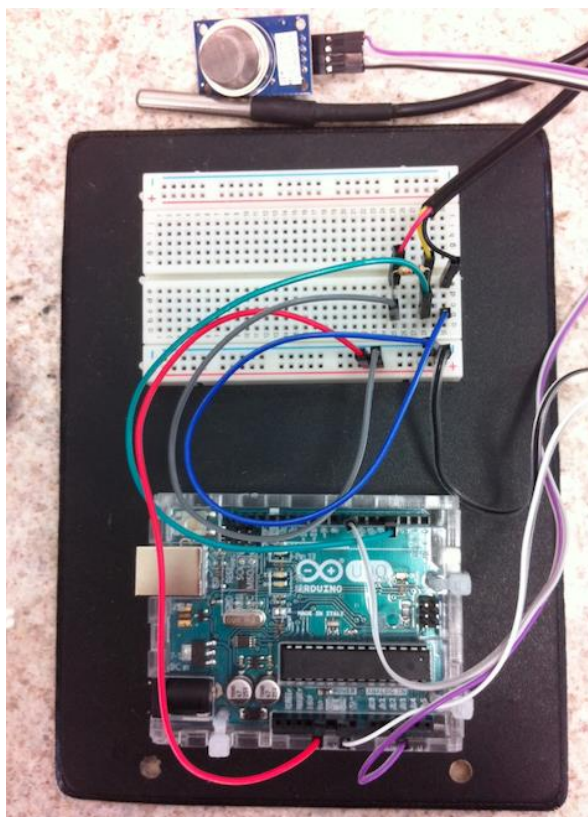
A medida de pressão se deu pela mangueira até um manômetro em forma de "U", que desloca uma coluna d'água, possibilitando tomar nota da diferença de altura para posteriores cálculos de pressão. Assim, também foi realizado um orifício com uma válvula de saída na metade do galão para o excesso de água (Figura 3). Para a aquisição de dados, além do manômetro em U foi utilizada uma placa arduino, com o intuito de obter a temperatura no interior do biodigestor e medições da saída do gás. O anexo A apresenta o código utilizado no

Figura 1: Biodigestor com o kitassato ao lado e aparelhos de monitoramento.



Fonte: Autores, 2017.

Figura 2: Placa arduino de monitoramento.



Fonte: Autores, 2017.

Figura 3: Biodigestor com demonstração do piezômetro em “U”



Fonte: Autores, 2017.

Deu-se início aos experimentos, realizou-se a pesagem de 1 kg do bagaço do malte, adicionando 1 litro de água a temperatura ambiente e triturando a mistura para apresentar um aspecto homogêneo. Posteriormente, foram adicionados 2 litros de resíduo da biodigestão anterior na mistura, totalizando um volume inicial de 4 litros para o processo.

2.2 OPERAÇÃO DO BIODIGESTOR

No decorrer do período de atividades empíricas, o biodigestor foi alocado dentro da sala Fenômenos de Transporte no laboratório 1 da Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus* Cerro Largo – RS. Ao longo dos dias de experimento foi realizada uma leitura do manômetro em períodos de 24 horas, podendo assim, visualizar o progresso da biodigestão.

Assim METZ (2013), com o intuito de determinar o volume de gás produzido, supõe-se que o mesmo possui características de um gás ideal. Dessa forma, possibilita-se a aplicação da equação dos gases ideais de Clapeyron. Para um gás ideal, temos a relação:

$$pV = nRT \quad (1)$$

onde p é a pressão em Pa; V é o volume em m^3 ; n é o número de mols do gás em mol; R é a constante universal dos gases que recebe o valor de 8,314 J/mol K; e T é a temperatura em K. Utilizando a Equação 1, obtem-se:

$$\frac{pV}{T} = nR \quad (2)$$

Assumindo, que o lado direito da equação apresenta características constantes para os estados presentes durante a realização do projeto. Da Equação 2, obtém-se:

$$\frac{p_{ext}V_{ext}}{T_{ext}} = \frac{p_{int}V_{int}}{T_{int}} \quad (3)$$

onde *ext* é o índice característico das variáveis de estado do gás no exterior do biodigestor; e *int* é o índice característico das variáveis de estado do gás no interior do biodigestor.

Como existe o equilíbrio térmico no sistema, pode-se estabelecer que a $T_{ext} = T_{int}$ e que $p_{ext} = p_{atm}$. Dessa forma, aplicando-se a Equação 3, obtém-se:

$$p_{ext}V_{ext} = p_{int}V_{int} \quad (4)$$

Da forma que o biodigestor está conectado a um manômetro ligado a parte externa, sabe-se, que $p_{int} = p_{atm} + p_{hid}$, onde p_{hid} a pressão exercida pela coluna de água do manômetro sobre o gás no interior do biodigestor. Assim, combinando a equação 4 com a equação da p_{int} , obtêm-se o V_{ext} :

$$V_{ext} = \frac{(p_{atm} + p_{hid}) \cdot V_{int}}{p_{atm}} \quad (5)$$

Considerando, que $p_{atm} = 10 \text{ mH}_2\text{O}$ e que $V_{int} = 16$ litros, da Equação 5 se obtêm:

$$V_{ext} = \frac{(10 + p_{hid}) \cdot 16}{10} \rightarrow V_{ext} = (10 + p_{hid}) \cdot 1,6 \quad (6)$$

Relembrando que V_{ext} é o volume que deveria ser ocupado pelo gás quando a pressão foi de 1 atm (10 mH₂O), assim, a produção real de gás (ΔV) é encontrada ao realizar a subtração do volume externo pelo interno do biodigestor, assim

$$\Delta V = V_{ext} - V_{int} \quad (7)$$

Dessa forma, relacionando a Equação 6 com a Equação 7, e denominando ΔV de *volume de gás produzido* (V_p), obtêm-se a equação que associa os resultados da pressão hidrostática no manômetro (p_{hid}) e o volume de gás gerado (V_p) no período de 24 horas:

$$V_p = 1,6 \cdot p_{hid} \quad (8)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de biogás deste projeto foi acompanhada diariamente e, assim, elaborou-se uma tabela que possibilitou a organização dos dados de geração do gás metano e controle de sua produção. Dessa forma, reuniu-se as seguintes informações: data, temperatura e diferença

de altura na coluna d'água no manômetro, pressão interna e a pressão hidrostática. A Tabela 2 apresenta estas informações, ao longo de 34 dias.

Tabela 2: Resultados das análises realizadas no Biodigestor para o bagaço de malte.

DIA	TEMP. (°C)	ΔH (cm)	P_{INTERNO} (Pa)	P_{HIDROSTÁTICA} (mH₂O)
1	31,00	14,5	102747,45	0,1518
2	31,25	10,7	102374,67	0,1120
3	31,81	5,0	101815,50	0,0523
4	32,25	4,5	101766,45	0,0471
5	32,50	3,5	101668,35	0,0366
6	31,75	3,0	101619,30	0,0314
7	28,62	1,0	101423,10	0,0105
8	26,94	1,0	101423,10	0,0105
9	27,12	2,5	101570,25	0,0262
10	29,70	4,2	101737,02	0,0440
11	30,94	3,8	101697,78	0,0398
12	30,37	1,8	101501,58	0,0188
13	29,87	1,5	101472,15	0,0157
14	28,87	2,0	101521,20	0,0209
15	27,62	0,9	101413,29	0,0094
16	31,56	2,2	101540,82	0,0230
17	33,50	4,3	101746,83	0,0450
18	27,94	-1,6	101168,04	0
19	28,87	1,8	101501,58	0,0188
20	28,12	2,5	101570,25	0,0262
21	29,00	3,8	101697,78	0,0398

22	30,87	4,3	101746,83	0,0450
23	26,56	-0,6	101266,14	0
24	24,94	0,2	101344,62	0,0021
25	26,20	1,1	101432,91	0,0115
26	28,50	3,0	101619,30	0,0314
27	30,31	3,7	101687,97	0,0387
28	30,94	2,9	101609,49	0,0304
29	30,75	2,6	101580,06	0,0272
30	29,94	0,8	101403,48	0,0084
31	32,31	1,8	101501,58	0,0188
32	29,75	0,7	101393,67	0,0073
33	31,25	-0,5	101275,95	0
34	30,81	1,1	101432,91	0,0115

Fonte: Autores, 2017.

A duração da produção de biogás no biodigestor com resíduos da indústria cervejeira, que neste período utilizou-se o bagaço de malte, foi de 34 dias. Dessa forma, observando na Tabela 2, é possível analisar que a temperatura foi fator importante nas diferenças que ocorreram na coluna do manômetro, fazendo assim, com que a pressão variasse sem um padrão específico.

Com o registro da pressão manométrica realizada, aplicou-se a equação 8, obtendo-se assim, o volume de gás produzido diariamente. A Tabela 3, apresenta a produção de biogás por semana, além, da produção acumulada.

Tabela 3: Produção de biogás semanal e acumulada.

SEMANA	VALOR SEMANAL (m ³)	VALOR ACOMULADO (m ³)
1	0,00071	0,00071

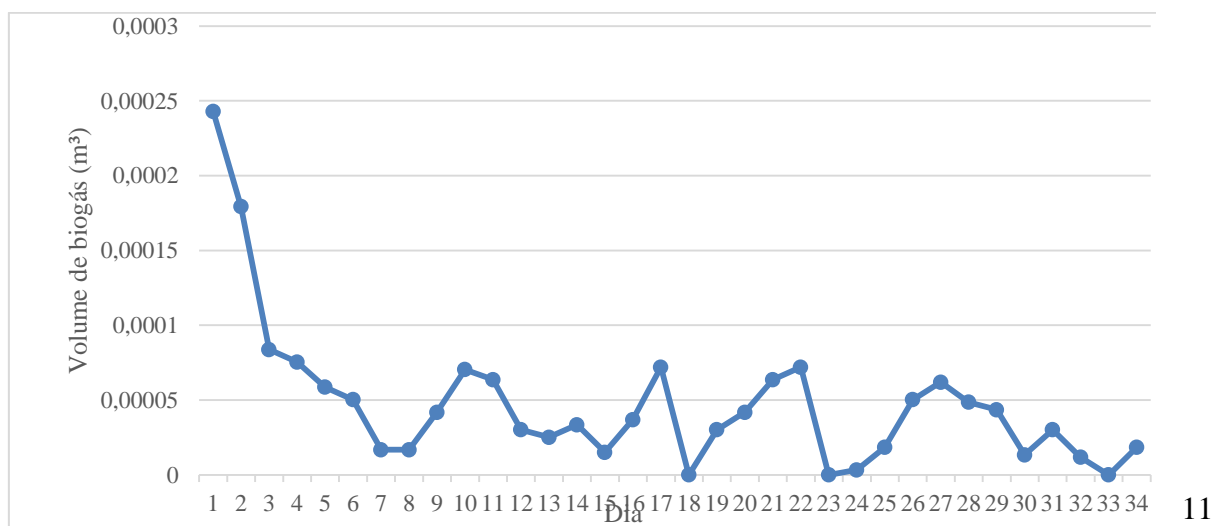
2	0,00028	0,00099
3	0,00026	0,00125
4	0,00025	0,00150
5	0,00012	0,00162

Fonte: Autores, 2017.

Percebe-se pela Tabela 3, que no início da biodigestão o volume de biogás é superior as demais semanas, o que pode ser explicado pelas temperaturas diárias que variaram pouco e se mantiveram elevadas, possibilitando assim, ambiente ideal para o bom funcionamento das bactérias responsáveis pela conversão do processo.

As semanas 2, 3 e 4, ficaram com uma faixa média de produção de gás. A temperatura teve maior variação quando comparada a primeira semana, mas ainda assim, propiciando ambiente favorável para ação das bactérias. Na semana 4, a produção de biogás foi muito baixa, e a coluna d'água no manômetro variava cada vez menos, por isso as atividades de monitoramento se deram por encerradas.

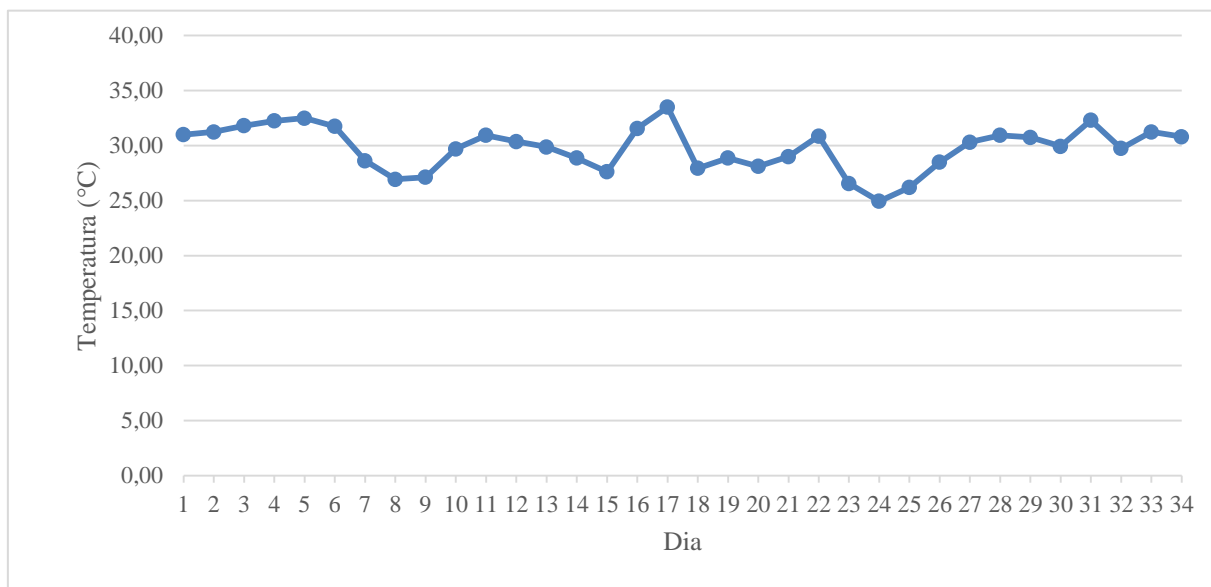
Figura 4: Volume de biogás produzido ao longo dos 34 dias.



Fonte: Autores, 2017.

Pode-se perceber com a Figura 4, o volume de gás sofreu grandes variações na sua produção. Tal comportamento pode estar diretamente ligado com a temperatura durante o processo. Percebe-se também, que os valores de volume que foram obtidos através de cálculos e conversões, são coerentes com valores já obtidos anteriormente, por demais projetos de pesquisa e estudos voltados para a área de biodigestão.

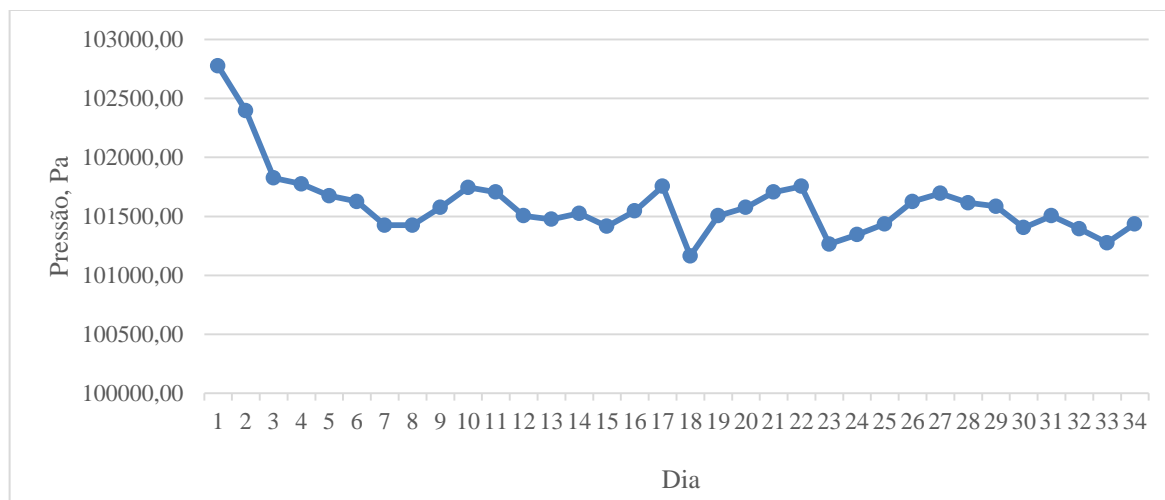
Figura 5: Temperatura do biodigestor ao longo dos 34 dias.



Fonte: Autores, 2017.

Na Figura 5, observa-se que a temperatura ideal para operação das bactérias é de 28°C a 35°C, na maioria do tempo, as temperaturas avaliadas se mantiveram dentro desse intervalo. Atividade das bactérias metanogênicas, produtoras de biogás, tem um rendimento ótimo na faixa de pH entre 6,6 e 7,4. Valores abaixo de 6,0 ou acima de 8,0 diminuem consideravelmente a produção do biogás, podendo inibir por completo a produção de biogás. O resultado obtido através de análise com a sonda multiparâmetro, registrou pH de 4,33, o que indica um valor baixo, que não proporciona rendimento máximo bacteriano.

Figura 6: Pressão do biodigestor ao longo dos 34 dias.



Fonte: Autores, 2017.

Os valores mostrados pelo sensor de metano demonstraram que desde o primeiro ao último dia de produção metano esteve presente no biodigestor (Figura 6). As variações nas leituras dependem da pressão interna do biodigestor, que corresponde a produção diária, que por sua vez está relacionada com a temperatura ambiente. Assim, como principal resultado do projeto, obteve-se o tempo de retenção do bagaço de malte de 34 dias.

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo, realizado em um biodigestor com o sistema de alimentação a batelada, ou seja, a matéria orgânica é introduzida, e então, se espera o processo cessar gerando produtos no final, apresentaram que o tempo de residência do biogás no biodigestor com bagaço de malte foi de 34 dias. Como sugestão, avaliando a produção de $0,00162 \text{ m}^3$, percebe-se que houve geração considerável de gás combustível e possível fonte de energia, entretanto, a fim de melhorar os resultados, indica-se fazer uma estimativa do volume ideal de matéria orgânica a ser introduzido no reator. Pois, uma quantidade pequena de substrato pode não gerar dados satisfatórios e uma quantidade muito grande pode vir a causar aumentos de pressão, que não serão suportados pelo biodigestor. Ainda como melhoria, fatores importantes que alteram o processo como, por exemplo, pH e temperatura podem ser monitorados e mantidos dentro da faixa ideal de operação das bactérias.

REFERÊNCIAS

AQUARONE, E.; LIMA, U.A.; BORZANI, W. (Ed.). **Alimentos e bebidas produzidos por fermentação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1983.



De 07/06/2017 a 09/06/2017



DEGANUTTI, R. P. et al. **Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada.** Departamento de Arquitetura, Artes e Representações Gráficas, UNESP: Bauru, 2002.

DIAS, P. C. **Análise de viabilidade da utilização do biogás gerado na digestão anaeróbica de levedura residual de cervejaria para geração de energia.** USP: São Carlos, 2014.

IEA, 2005. **Biogas production and utilisation.** Disponível em <www.novaenergie.chs>. Acesso em abril de 2017.

LIMA, U. de A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. **Biotecnologia Industrial: Processos Fermentativos e Enzimáticos.** Vol 3. Editora Edgard Blücher LTDA. São Paulo: 2001.

METZ, H. L. **Construção de um Biodigestor Caseiro para Demonstração de Produção de Biogás e Biofertilizante em Escolas Situadas em Meios Urbanos.** UFLA: Lavras, 2013.

AGRADECIMENTOS

BRANDENBURG, Bárbara Luiza dos Santos, agradece a FAPERGS pela bolsa de iniciação tecnológica.

ANEXO A**Código Arduino**

```
#include <OneWire.h>
int DS18S20_Pin = 3;
OneWire ds(DS18S20_Pin);

int pin_d0 = 7;
int pin_a0 = A2;
int nivel_sensor = 300;
//-----
void setup(void)
{
  pinMode(2, INPUT);
  attachInterrupt(0, incpulso, RISING);

  // Define os pinos de leitura do sensor como entrada
  pinMode(pin_d0, INPUT);
  pinMode(pin_a0, INPUT);
  // Inicializa a serial
  Serial.begin(9600);
}
//-----
void loop(void)
{
  float temperature = getTemp();
  Serial.print(" Temperatura: ");
  Serial.println(temperature);
  delay(100);

  int valor_digital = digitalRead(pin_d0);
  int valor_analogico = analogRead(pin_a0);
  Serial.print(" QUANT. METANO : ");
  Serial.println(valor_analogico);
  delay(3000);
}
//-----
float getTemp()
{
  byte data[12];
  byte addr[8];
  if ( !ds.search(addr) )
  {
    ds.reset_search();
    return -1000;
  }
  if ( OneWire::crc8( addr, 7) != addr[7] )
  {
    Serial.println("CRC is not valid!");
  }
}
```

```
    return -1000;
}
if ( addr[0] != 0x10 && addr[0] != 0x28)
{
    Serial.print("Device is not recognized");
    return -1000;
}
ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0x44, 1);
byte present = ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0xBE);
for (int i = 0; i < 9; i++)
{
    data[i] = ds.read();
}
ds.reset_search();
byte MSB = data[1];
byte LSB = data[0];
float tempRead = ((MSB << 8) | LSB);
float TemperatureSum = tempRead / 16;

return TemperatureSum;
}
```