

AValiação DO PROCESSO DE ObTENÇÃO DO BIOGÁS A PARTIR DO EXCREMENTO ANIMAL

N. G. Paixão¹

V. O. Mateus²

RESUMO

Tecnologias estão sendo desenvolvidas para minimizar a degradação causada ao meio ambiente dispondo de fontes energéticas renováveis de baixo custo. A produção de biogás acontece a partir da degradação anaeróbica de um material orgânico para formação de gás rico em CH₄. Para o procedimento proposto, utilizou-se uma panela de pressão de 2 L, galão de água potável comercial de 20L e reator *Parr* de 600 mL empregados como biodigestores, no qual armazenará o excremento animal por um período de 48 dias com o propósito de quantificar o potencial energético a partir do metano produzido. Durante o experimento, testes foram realizados a fim de analisar as condições existentes que afetam diretamente a eficiência do processo, esses testes baseiam-se na quantidade de matéria orgânica degradável, umidade e C/N.

Palavras-chave: Biogás; Metano; Degradação anaeróbica; Biodigestor.

ABSTRACT

Technologies are being developed to minimize the degradation caused to the environment by having low-cost renewable energy sources. The production of biogas occurs from the anaerobic degradation of an organic material to form gas rich in CH₄. For the proposed procedure, a pressure vessel of 2 L, commercial drinking water gallon of 20L and 600 mL Parr reactor used as biodigesters were used in which to store the animal excrement for a period of 48 days in order to quantify the energy potential from the methane produced. During the experiment, tests were performed in order to analyze the existing conditions that directly affect the efficiency of the process, these tests are based on the amount of degradable organic matter, humidity and C / N.

Keywords: Biogas. Methane; Anaerobic degradation; Biodigester.

1 INTRODUÇÃO

A aplicação dos 3R's (reduzir, reutilizar e reciclar) e a utilização de recursos naturais são iniciativas tecnológicas imbuídas de minimizar as agressões causadas ao meio ambiente. Os resíduos gerados nas indústrias, na área agrícola, residências e afins, descartados sem nenhum pré-tratamento podem acarretar a degradação dos ecossistemas naturais, bem como diminuir a qualidade da saúde humana. No Brasil somente na cidade do Salvador-Bahia são rejeitados em torno de 50.850 toneladas por mês aproximadamente (ZANTA, 2013).

O tratamento dos resíduos a partir da decomposição aeróbica ou anaeróbica é visto como alternativa viável economicamente e de elevado potencial energético renovável (HINÇA; SOUZA, 2016). A inserção destas podem reduzir os níveis de poluição existentes

¹ Graduanda em Engenharia Química. E-mail: nicelepaixao@gmail.com¹

² Docente da Escola de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Informação, Universidade Salvador – UNIFACS, Mestre em Química pela UFBA. E-mail: viviana.mateus@unifacs.br

em sua composição ao degradar o composto orgânico em compostos mais leves, que podem ser destinado para a geração de energia elétrica, combustível em automóveis, bem como biofertilizantes (VARNERO, 2011; HINÇA; SOUZA, 2016).

O presente artigo utiliza excremento animal como matéria-prima para a produção de biogás, a partir de biodigestores adaptados capazes de reter os produtos da fermentação da matéria – prima por um período de até 48 dias. As amostras do gás produzido, após passar pelo *trap* contendo carbonato de cálcio para reter o gás carbônico, foram coletadas e injetadas em um cromatógrafo a gás FID com a finalidade de quantificar o metano formado. A caracterização do excremento animal foi averiguada por diversas técnicas analíticas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Biogás

A energia armazenada na biomassa é perdida para a atmosfera em forma de gases e calor, mediante o processo de decomposição. Durante esse processo, as bactérias retiram parte das substâncias presentes na biomassa na qual necessitam para a manutenção da sua sobrevivência e, em contrapartida, lançam para a atmosfera gás e calor. Este gás é denominado de biogás, uma fonte de energia renovável de baixo custo, que pode ser utilizado para geração de calor, eletricidade e produção de combustível (BEALE et al., 2016; GONÇALVES, 2010; MOLLER, 2007; PEREIRA, 2009; TAFDRUP, 1995; XU et al., 2016).

O biogás é um biocombustível resultante da degradação anaeróbica da matéria orgânica, sendo um processo físico-químico que trabalha em pressão atmosférica e temperatura ambiente. Diversos tipos de microrganismos, que atuam na ausência de oxigênio a compõem. A eficiência da produção deste biocombustível depende unicamente das condições adequadas destes microrganismos (CURRY; PILLAY, 2012; OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

Este biocombustível é composto basicamente de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), na qual constituem aproximadamente 55 e 70% de metano e 30 e 45% de dióxido de carbono (BEALE et al., 2016; FRARE et al., 2009; PEREIRA, 2009; VAN ELK, 2007; ZHANG et al., 2016). Os outros componentes, tais como monóxido de carbono (CO), hidrogênio (H₂), nitrogênio (N₂), ácido sulfídrico (H₂S) e amônia (NH₃), estão presentes em

quantidades menores na composição (FRARE et al., 2009; VAN ELK, 2007; RYCKEBOSCH et al., 2011).

O metano (CH₄) é um hidrocarboneto com aspecto incolor, sem odor e não tóxico, possuindo baixa solubilidade em água, todavia, ao entrar em contato com o ar pode-se tornar altamente explosivo. O alto poder energético do metano é proveniente da ligação covalente entre os átomos carbono e hidrogênio. Na produção do biogás, o poder calorífico está diretamente ligado à quantidade de metano presente na mistura gasosa (CABRAL, 2009; GONÇALVES, 2010; PEREIRA, 2009).

Utilizado como fonte de energia renovável, o biogás pode ser obtido de forma natural ou artificial. A forma natural de obter o biogás é através de excremento animal, resíduos industriais, lixo doméstico, resíduos agrícolas, restos de alimentos, lodo de esgoto, entre outros, em condições adequadas de umidade. Enquanto que, a forma artificial pode ser dada pelo uso de um reator químico-biológico chamado de biodigestor anaeróbico (PEREIRA, 2009; ROYA et al., 2011; XU et al., 2016). Pode ser aproveitado para geração de energia limpa e renovável substituindo o GLP (gás liquefeito de petróleo) e o gás natural, visando à viabilidade técnica e econômica, além de minimizar a acentuação do efeito estufa (BEALE et al., 2015; GONÇALVES, 2010; MOLLER, 2007).

2.2 Condições do meio que interferem na digestão anaeróbica

As condições físico químicas ótimas para o processo da biodigestão estão atreladas diretamente: à temperatura, sabe-se que as faixas de crescimento microbiano mesófilos (20–45°C) e termófilos (45–60°C) são as mais empregadas (EHIMEN et al., 2010; ROHSTOFFE, 2010). O pH entre 6,5 – 7,5, podendo variar a depender do: tipo de substrato, biodigestor e a técnica escolhida para análise (KHAN; MARTIN, 2016; NAIK, 2014; ZHAI, 2015). O tempo de retenção hidráulica para o mesofílico entre 15 e 30 dias e o termofílico 12 e 14 dias (MOLLER, 2007; PSU, 2016). O grau de agitação em alguns casos se faz necessário por tornar o substrato mais homogêneo, proporcionando a transferência de calor entre os fluidos e, por conseguinte, a liberação do gás formado (GONÇALVES, 2010; KHAN e MARTIN, 2016). Os sólidos voláteis é a matéria orgânica propriamente dita. A concentração dos sólidos voláteis está relacionada à eficiência da produção do gás, sendo diretamente proporcionais. O tamanho das partículas favorece a fermentação anaeróbica, quanto menor for o tamanho, mais rápido os microrganismos degradam o substrato. A relação carbono/nitrogênio (C/N) em

torno de 20 a 35 (FELIZOLA et al., 2006; XU et al., 2016) é considerada viável. Cada condição a ser analisada difere a partir da escolha da composição da matéria-prima, o tipo de substrato, o biodigestor e afins, em que se sujeita a sofrer algumas perturbações no sistema (KHAN; MARTIN, 2016; ZHAI, 2015).

2.3 Produção de biogás

A primeira etapa consiste basicamente em coletar o resíduo orgânico e armazená-lo para, em seguida, realizar um pré-tratamento (se necessário), no qual compõe as etapas de: trituração, separação e homogeneização, entre outros (HINÇA e SOUZA, 2016). A segunda etapa refere-se ao processo de biodigestão, onde ocorre a biodegradação anaeróbica do material orgânico para a produção do biogás (BEALE et al., 2016). Na terceira, parte do produto é armazenado e encaminhado para um possível tratamento e destinação para biofertilizante (ABDELSALAM, 2016; DIETER; STEINHAUSER, 2008; HINÇA; SOUZA, 2016; XU et al., 2016).

2.4 Definição dos biodigestores

Os biodigestores são equipamentos destinados à produção do biogás a partir da decomposição de resíduos orgânicos anaerobicamente, podem ser denominado de tanque de fermentação ou biodigestor anaeróbico. São formados basicamente por um tanque, com ou sem sistema de agitação, que contém a biomassa e ocorre a digestão e, o gasômetro no qual acondiciona o biogás. São normalmente instalados em subsolos com o intuito de ter o mínimo contato com o ar atmosférico e proporcionar variações bruscas de temperatura. Já que neste processo fermentativo precisa haver este controle para não interromper a produção do gás (KHAN; MARTIN, 2016; OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006; PEREIRA, 2009; SALOMOM; TIAGO FILHO, 2007).

2.5 Tipo de abastecimento dos biodigestores

O modo de abastecimento dos biodigestores é classificado em: processo descontínuo (em batelada) e processo contínuo.

2.5.1 Processo descontínuo

Este é um modelo simples para produção em pequena escala, que varia ao longo do tempo. Pode ser um tanque anaeróbico ou uma série de tanques, e é alimentada com o substrato fresco, uma única vez, dando início ao processo de fermentação, e sendo repostada somente após o tempo de residência que condiz com a digestão completa do substrato (DIETER; STEINHAUSER, 2008; PEREIRA, 2009; VILLELA; SILVEIRA, 2008).

2.5.2 Processo contínuo

O processo contínuo ocorre com alimentação ininterrupta da biomassa, proveniente do tanque de carga. A depender do substrato utilizado, a mesma é inserida na câmara de fermentação a uma determinada taxa de diluição, ficando retido por alguns dias em tempo uniforme. Após o carregamento da cuba e o início da fermentação, o sistema tende a se estabilizar. Para isso, é necessário verificar os parâmetros físicos químicos a serem utilizados (PEREIRA, 2009; SALOMOM; TIAGO FILHO, 2007).

2.6 Tipos de biodigestores

Há diversos tipos de biodigestores, sendo eles projetados na forma: horizontal ou vertical; de alvenaria ou concreto; plástico ou lona; metal ou fibra de vidro (SALOMOM; TIAGO FILHO, 2007). A escolha vai de acordo com a necessidade do projeto, a viabilidade econômica, as características do substrato, o clima da região, a mão-de-obra, dentre outros (PEREIRA, 2009; SALOMOM; TIAGO FILHO, 2007; VILLELA; SILVEIRA, 2008).

2.6.1 Biodigestor lagoa coberta

As principais desvantagens são a perda de produtividade na época do inverno, devido à diminuição da temperatura (PEREIRA, 2009; PSU, 2016) e a deformação do plástico por o vazamento do gás para atmosfera (LINDEMEYER, 2008).

2.6.2 Biodigestor de mistura completa

Este método aumenta a qualidade do biogás obtido, porém o custo de instalação, operação e manutenção também aumentam (GONÇALVES, 2010). O seu tempo de retenção é em torno de 10 a 20 dias, serve tanto para temperatura mesofílica e termofílica (PSU, 2016).

2.6.3 Biodigestor agrícola

É instalado no subsolo, com a intenção de provocar poucas variações na temperatura do sistema. Não sendo recomendável instalar em áreas de lençol freático alto, por risco de infiltração (SALOMOM e TIAGO FILHO, 2007). No Brasil, a utilização de biodigestores revestidos com manta de PVC é empregada na tentativa de atenuar interferências nocivas ao ambiente, sendo economicamente mais viável a instalação e manutenção. Além da possibilidade de ser implantada em regiões de pequena e grande propriedade agrícola (AFANAHA, 2011; OLIVER et al., 2008).

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Realizar experimentos a fim de quantificar a produção de metano a partir do esterco equino.

3.2 Específicos

- a) Preparar os recipientes destinados ao experimento;
- b) Obter as características físico-químicas do excremento;
- c) Quantificar o metano produzido;
- d) Divulgar os resultados obtidos.

4 METODOLOGIA

O procedimento proposto foi definido baseado na variação de diferentes biodigestores: panela de pressão, galão de água potável comercial e um reator batelada, vaso pressurizado, tipo vertical, com capacidade de 600 mL, modelo 4760-77 series da marca *Parr Instrument Company*. A panela de pressão foi adaptada com: manômetro, válvula de bloqueio e mangueiras para captação dos produtos. O galão de água sofreu alterações com a inserção de câmara de ar e mangueira. E o reator *Parr* foi acoplado um manômetro capaz de mensurar baixas pressões, pois o original de fábrica não tinha essa precisão.

Todos os biodigestores utilizaram um sistema de *trap* contendo carbonato de cálcio para reter o CO₂. Além disso, os biodigestores foram testados com N₂ para averiguar vazamentos e, selados com adesivo bicomponente à base de resina epóxi. A posteriori, foi definido excremento animal como a matéria-prima utilizada para o procedimento proposto. Essa será caracterizada pelos métodos da secagem direta em estufa à 105°C, do resíduo por incineração, do método da mufla e o método kjeldahl que estão dispostos no tópico 4.1, a seguir. Com posse desses resultados foi definido a quantidade a ser utilizada mediante a capacidade dos recipientes.

A metodologia foi baseada no método de Moller (2007), que consiste em avaliar os produtos obtidos mediante a técnica de cromatografia a gás. Para este processo foi utilizado o cromatógrafo a gás CG VARIAN-CP3800, utilizando uma coluna de Alumina CP-Al₂O₃/Na₂SO₄ (50 m × 0,53 mm × 10 µm) do fabricante *Chrompack* com hélio como gás de arraste, na vazão de 4 mL/min. O método de aquecimento adotada para esta encontra-se na tabela abaixo:

Tabela 1 – Rampa de aquecimento da coluna cromatográfica

Temperatura (°C)	Taxa (°C/min)	Permanência (min)	Total (min)
50,00	-	1,00	1,00
75,00	5,00	0,00	6,00
220,00	20,00	0,00	13,25

O método acima foi baseado a partir da literatura (ALVES; PIO; GOMES, 2006). O detector é de ionização de chama (FID) à 250°C, com vazão de hidrogênio de 40 mL/min e vazão de ar sintético de 400 mL/min.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA

4.1.1 Teste de umidade – Secagem direta em estufa a 105°C

O procedimento para o teste de umidade permitiu determinar a quantidade de água presente na matéria orgânica. A metodologia empregada foi da perda por dessecação (umidade) – Secagem direta em estufa a 105°C (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008; INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985). O experimento foi realizado em triplicata com, aproximadamente, 10 g da matéria-prima. A umidade foi mensurada conforme a equação 1 abaixo:

$$\%Umidade = \frac{100 \times N}{P} \quad (\text{equação 1})$$

Define-se: n° de gramas de umidade (perda de massa em g) (N); n° de gramas da amostra.

4.1.2 Quantidade de sólidos voláteis - Resíduo por incineração

Este procedimento foi efetuado para quantificar a biodegradabilidade das amostras e, por conseguinte, à eficiência da produção do biogás. O experimento foi realizado em triplicata com, aproximadamente, 25 g de excremento animal. A metodologia está descrita em resíduo por incineração – Cinzas (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008; INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985). O cálculo é realizado substituindo os valores na seguinte equação 2, definiu-se: percentagem dos sólidos voláteis (%SV); n° de g de cinzas (N); n° de g da amostra (P).

$$\%SV = \frac{100 \times N}{P} \quad (\text{equação 2})$$

4.1.3 Determinação do carbono orgânico total – Método da mufla

O carbono orgânico total refere-se a toda matéria orgânica presente na amostra, permitindo também avaliar a relação C/N. Para a determinação do mesmo fez-se a partir do método da mufla, neste caso, o procedimento foi em triplicata utilizando aproximadamente 20 g da matéria-prima (BENACI, 2010; DO CARMO; SILVA, 2012). Para quantificar o teor de carbono produzido calculou-se a partir das equações 3 e 4 abaixo:

$$\%MO = \frac{(P-(T-C) \times 100)}{P} \quad (\text{equação 3}) \quad \%CT = (0,463 \times MO) - 0,550 \quad (\text{equação 4})$$

Define-se: teor de matéria orgânica em percentagem (%MO); teor do carbono total em percentagem (%CT); peso da massa aquecida à 105°C em gramas (P); tara do cadinho em gramas (C); peso da cinza + cadinho (T).

4.1.4 Quantificação do teor de nitrogênio – Método kjeldahl

Para determinação de nitrogênio contido no biogás utilizou-se o método de kjeldahl (SILVA et al, 2010). O teor de nitrogênio foi calculado a partir do fator de correção da amostra, visto a equação 5 abaixo:

$$\%NT = \frac{(V \times N_{HCl} \times 0,014 \times 100)}{m} \quad (\text{equação 5})$$

Define-se: teor de nitrogênio total na amostra, em percentagem (%NT); volume da solução de ácido clorídrico gasto na titulação da amostra, em mililitros (V); normalidade teórica da solução de ácido clorídrico 0,1 N (M_{HCl}); massa da amostra em gramas (m).

4.2 Realização do procedimento proposto

Após a realização dos testes de umidade e quantidade de sólidos voláteis, foi possível estimar a quantidade de matéria orgânica e água a serem adicionadas nos respectivos biodigestores e analisá-los por um período de 48 dias com subsídio de um cromatógrafo a gás. Neste experimento, preferiu-se adotar uma proporção 1:1, isto é, para certa quantidade de matéria orgânica acrescenta a mesma quantidade de água. A partir disso, pode ser calculada a umidade base úmida através da relação entre o total de água presente e a massa total contida nos biodigestores.

Para o referido projeto adotou-se 60 g de matéria orgânica dentro do reator, 200 g na panela de pressão e 3500 g no galão de água potável comercial, sendo devidamente vedados com cola de silicone para evitar vazamento do gás e, conseqüente, perda de material para análise. Antes de definir a quantidade a ser adicionada em cada biodigestor, a matéria-prima foi homogeneizada e posteriormente pesada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Teste de umidade

As amostras, após o teste, obtiveram o aspecto resultante na FIGURA 01, podendo perceber que se encontra seca:

Figura 1 - Amostras de esterco isentas de umidade



Para maior produtividade do biogás o teor de umidade encontra-se entre 60-80% (SILVA, 2010). De acordo com TRANI (2013), o teor de umidade no excremento equino foi de 61%. O teste de umidade realizado nesse referido projeto gerou os resultados dispostos na tabela 02.

Tabela 2 – Resultados encontrados com o teste de umidade.

	Massa da Amostra (P)	Massa Residual	Massa Evaporada (N)	% Umidade
1	10,0116	4,1102	5,9014	58,9456
2	10,0004	4,3187	5,6817	56,8147
3	10,0795	3,8535	6,2260	61,7689
Média	10,0305	4,0941	5,9364	59,1764

Tabela 3 – Estatística referente ao teste de umidade.

Parâmetros	Valor (%)
Média	59,1764
Erro padrão	1,4348
Desvio padrão	2,4852
Variância da amostra	6,1760

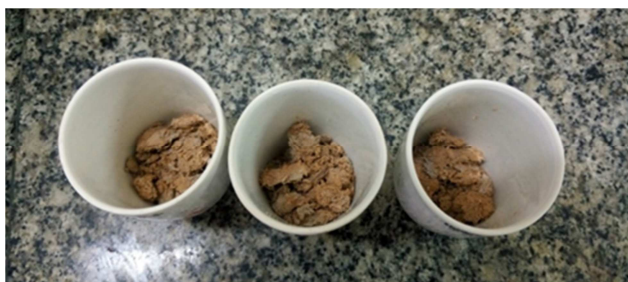
Os resultados expostos na tabela 02, apresentando um erro relativo, mostra que 59% do esterco analisado são compostos de água, significando que o rendimento encontrado é relativamente propício para fermentação anaeróbica a partir da matéria orgânica utilizada.

5.2 Quantidade de sólidos voláteis

O teste realizado na mufla resultou em uma massa seca, onde sugere-se que será a parte sólida não participante da reação. Nas FIGURAS 02, pode-se visualizar o aspecto das amostras após serem retiradas da mufla:

Figura 02 – a) A matéria orgânica ao retirar da mufla e b) aspecto das cinzas após a mufla.

a)



b)



O teor de sólidos voláteis encontra-se entre 60-80% para a produção de biogás (MONTINGELLI, 2016). É possível visualizar que há cerca de 78%, em média, de sólidos voláteis encontrados, sólidos que participarão efetivamente da reação, foram convertido em biogás. Nas tabelas 04 e 05, é possível visualizar os valores encontrados e a estatística referente ao teste de SV, respectivamente.

Tabela 4 – Resultados encontrados com o teste de SV

Amostr a	m_{Cadinho} (g)	m_{amostra} (g)	m_{cadinho} +amostra (g)	m_{pós} mufla (g)	m_{amostr} a(g)	m_{cinzas} (g)	Evaporad o (g)	%SV
1	95,0703	25,0261	115,9690	99,4183	20,898 7	4,3480	16,5507	79,1949
2	91,2331	25,0735	112,0984	94,5675	20,865 3	3,3344	17,5309	84,0194
3	83,5459	25,1078	104,2254	89,3411	20,679 5	5,7952	14,8843	71,9761
Média	89,9498	25,0691	110,7643	94,4423	20,814 5	4,4925	16,3220	78,3968

Tabela 5 – Estatística referente ao teste SV

Parâmetros	Valor (%)
Média	78,3968
Erro padrão	3,4994
Desvio padrão	6,0612
Variância da amostra	36,7379

5.3 DETERMINAÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO – MÉTODO DA MUFLA

Dentre os procedimentos para determinar o carbono orgânico, o método da mufla é rápido, fácil e não gera resíduos contaminados. Todavia, ele determina o teor de matéria orgânica pela diferença das massas, e durante o processo pode ocorrer perda do material e isso acarreta no erro ao calcular o teor de carbono. Por isso, não pode haver nenhuma contaminação química ou biológica, pois acarreta em erros analíticos (DO CARMO e SILVA, 2012). Na FIGURA 03, é possível visualizar o aspecto das amostras após permanecer 24h na estufa a 105°C e 3h na mufla a 550 °C:

Figura 3 – Amostras após 24h na estufa e 3h na mufla



De acordo com a literatura, o esterco equino apresentou uma concentração de matéria orgânica de 74,77%, com uma concentração de carbono orgânico de 41,54% (TIAGO; MELZ; SCHIEDECK, 2008). Conforme descrito no trabalho de TRANI (2013), o teor de carbono no esterco equino foi equivalente a 35%. Neste experimento, há uma média de 11,2% de carbono orgânico total produzido nas amostras coletadas para análise em uma média de 79,2% de matéria orgânica, apresentando um erro de 0,27%. A baixa concentração de carbono orgânico encontrado nesta análise difere da literatura, isso pode ser explicado devido que parte desse composto tenha sido convertida em dióxido de carbono (GONÇALVES, 2014). Os resultados dos procedimentos encontram-se na tabela 05:

Tabela 5 – Resultados encontrados para o teste de carbono total

Amostra	m_{amostra} (g)	m_{cadinho} +amostra (g)	m_{após 24h na estufa} (g)	m_{após 3h na mufla} (g)	%MO	%CO
1	20,0539	103,5588	90,7351	87,0649	78,0	10,7
2	20,0323	111,2689	98,3950	94,6581	79,7	11,4
3	20,0293	111,703	99,0248	95,3453	79,9	11,5
Média	20,0385	108,8436	96,0516	92,3561	79,2	11,2

Tabela 6 – Tratamento estatístico do teor de CO

Parâmetros	Valor (%)
Média	11,21
Erro padrão	0,27
Desvio padrão	0,47
Variância da amostra	0,0022

5.4 QUANTIFICAÇÃO DO TEOR DE NITROGÊNIO – MÉTODO KJELDAHL

A determinação do nitrogênio produzido foi realizada através do método de kjeldahl (GALVANI; GAERTNER, 2006; SILVA et al, 2010). O teor de nitrogênio foi calculado através da equação 5 (item 4.1.4), os resultados estão dispostos na tabela 08 e apresentando o erro relativo na tabela 09:

Tabela 8 – Resultados do teor de N₂ no terceiro dia de teste

Dados	Peso das amostras (g)	Titulação (mL)	N HCl	N-NH ₃ (%)
Amostra 1	0,2008	0,53		0,370
Amostra 2	0,2047	0,56	0,1	0,383
Amostra 3	0,2093	0,53		0,355
			Média	0,369

Tabela 9 – Tratamento estatístico do teor de NT

Parâmetros	Valor (%)
Média	0,37
Erro padrão	0,008
Desvio padrão	0,014
Variância da amostra	0,000002

A quantidade de amônia presente no biogás é menor que 1,0%, enquanto que de nitrogênio varia entre 0 a 2% (RYCKEBOSCH et al., 2011). De acordo com experimento explanado na literatura, o esterco equino produziu 1,61% de nitrogênio (TIAGO; MELZ; SCHIEDECK, 2008). E para TRANI (2013), o teor de nitrogênio para este esterco foi de 1,4%. Durante o experimento, só foi possível determinar o teor de nitrogênio no terceiro dia de teste, sendo este apresentando uma média de 0,369%, isto é, em comparação, mesmo sendo uma concentração relativamente baixa, há menor probabilidade do nitrogênio se transformar em amônia ocasionando a morte dos microrganismos, e a consequente perda da produtividade. Este rendimento encontrado não significa que a biodegradação será baixa, pois o mesmo se encontra na faixa recomendada para o processo.

5.5 RELAÇÃO C/N

Segundo a literatura, para geração de biogás o ideal seria a relação carbono/nitrogênio variar entre 20 a 35 no início do tratamento e entre 10 a 13 ao fim do tratamento (KARLSSON et al., 2014). Os resultados da relação C/N para amostra de esterco encontram-se dispostos na tabela 10:

Tabela 10 – Relação C/N

	CO (%)	N-NH ₃ (%)	C/N
	10,67	0,37	28,86/1
	11,45	0,38	29,89/1
	11,51	0,35	32,46/1
Média	11,22	0,37	30,40/1

O experimento realizado de acordo com a bibliografia, a relação C/N foi de 25,8/1 (TIAGO; MELZ; SCHIEDECK, 2008). Segundo TRANI (2013), o esterco equino possui uma relação de 25/1. Já a tabela 10 mostra a média da relação C/N de 30/1, significando um rendimento maior em relação ao demais, sendo propício à biodegradabilidade da matéria orgânica, neste caso, encontra-se no tempo de maturação ideal.

5.6 Produção de biogás

Os biodigestores foram preparados em temperatura ambiente. A tabela 11 abaixo mostra a quantidade de massa total adicionadas nos respectivos biodigestores para o processo de fermentação anaeróbica.

Tabela 11 – Resultados obtidos dos três biodigestores

Dados	Reator	Panela	Galão
Massa orgânica total (g)	60	200	3500
Água adicionada (mL)	60	200	3500
Água na amostra (mL)	35,5059	118,3529	2071,1750
Total de água (mL)	95,5059	318,3529	5571,1750
Massa total (g)	120	400	7000
Umidade base úmida	80%	80%	80%

Foi utilizada uma proporção de 1:1 para a solução de água e matéria orgânica, mostrando também que há presença de 80% de umidade, mesmo sendo comumente utilizado uma proporção de 3:1 para otimização do processo (CATARINO; GONZÁLEZ; OLIVEIRA, 2009). Porém, o intuito é verificar se proporção de 1:1 também proporciona a biodegradação, como assim foi atestado. Abaixo, FIGURA 04, se encontra as imagens dos biodigestores devidamente montados:

Figura 4 – Os três biodigestores devidamente montados



Durante 48 dias foram observados o processo de produção de biogás nos três biodigestores.

5.6.1 Reator Parr

O reator *Parr* com oito dias houve uma formação de 2,5 psi de gás produzido, no entanto foi concluído que ainda não tinha pressão suficiente para ter boa análise após a injeção no cromatógrafo a gás. Então, com 10 dias, quando a pressão atingiu 5 psi, foi possível a realização dos testes. Passado 18 dias desde o último teste, o manômetro apresentou 32 psi, como houve problemas com o equipamento não foi possível realizar as análises, por conta disso, teve que aliviar a pressão do sistema para 27 psi para o valor da pressão não atingir o fundo de escala e não descalibrar o manômetro. Com 35 dias, o manômetro marcando 35 psi foram feitos novos testes, deixando ainda 5 psi no reator. Foram feitas algumas observações com 40 dias, quando o reator encontrou-se com 11,5 psi, com 44 dias o manômetro registrou 16 psi e após quatro dias informou 21,5 psi. Diante destes dados, constatou-se que a cada após 18 dias iniciou-se o processo de decomposição para formar o biogás em maior proporção.

5.6.2 Painel de pressão

A panela de pressão apresentou problemas de vazamento nos primeiros dias de acompanhamento do experimento, por conta disso, não foi possível quantificar os gases presentes neste biodigestor.

5.6.3 Galão de água potável comercial

A câmara de ar conectada ao galão apresentou após oito dias estar cheio de gás, por isso deu início a análise das substâncias presente no biogás a partir de injeções no cromatógrafo a gás com subsídio de um “gas bag”. Com mais dois dias a câmara de ar encheu novamente e realizaram novas análises. Foi observado que nos primeiros dias o galão teve maior produção de biogás em comparação com os demais biodigestores, devido ao fato de haver maior volume de material orgânico armazenado. No entanto, com 17 dias de acompanhamento ocorreu vazamento, por conta disso não foi possível realizar mais testes. Então, fez-se a troca da câmara de ar e as devidas vedações. Dos 20 aos 48 dias de observações, o galão estava gerando pouco gás em comparação aos primeiros dias e ao reator *parr*, provavelmente, por conta das variações de temperaturas no decorrer do experimento.

Por outro lado, após 35 dias foi possível realizar mais testes para quantificar o metano produzido.

5.7 QUANTIFICAÇÃO DO METANO PRODUZIDO

A análise qualitativa e quantitativa do metano gerado foi determinada através da análise cromatográfica de um padrão de metano, onde se observou que o mesmo tinha um tempo de retenção de 1,75 minutos (tabela 12) e a área do pico referente ao metano corresponde a sua concentração no padrão. Através da análise das amostras nas mesmas condições do padrão, pode-se identificar e quantificar o metano produzido (tabelas 13 e 14).

Tabela 12 – Padrões injetados e seus respectivos dados

Padrão	T retenção (min)	V (mL) loop	d (g/L)	Massa			Área 1	Área 2	Área 3	Área Média
				Massa (g)	molecu lar (g/mol)	n (mol)				
CH_4	1,7525	0,2545	0,65	1,67E-	16,04	1,0408E-	64127	49379	59196	575680,0
			6	01		02	9	2	9	0
C_2H_6	1,8775	0,2545	1,36	3,46E-	30,07	1,1510E-	24384	20499	11223	187027,0
			5	01		02	9	6	6	0
C_3H_8	3,6355	0,2545	1,81	4,61E-	42,08	1,0947E-	30196	75473	36295	4732179,
			1	01		02	49	73	17	67

A tabela 11 mostra também as áreas dos padrões relacionados ao volume do loop de 0,2545mL. O cálculo para encontrar o número de moles de cada padrão, foi simulado no ASPEN HYSYS V8.0 a partir da densidade e suas respectivas massas moleculares.

Com posse destes resultados foi possível calcular o número de moles de metano presente nas amostras. Os resultados nas tabelas 13 e 14:

Tabela 13 – Número de moles do metano no galão comercial

Dados	Área total	Área desconhecida	V desconhecido	n desconhecido	n metano
	$\mu V.s$	$\mu V.s$	mL	$mols$	$mols$
Galão 1	44417	8714	0,049	0,0020	84%
Galão 2	11487	11487	0,2545	0,0104	0,012%
Galão 3	153432	8372	0,014	0,0006	98%
Galão 4	22925	22925	0,2545	0,0104	0,012%
Galão 5	405354	-	-	-	-
Galão 6	296040	-	-	-	-
Galão 7	390171	5707	0,0037	0,00015	103%
Galão 8	293510	-	-	-	-

Tabela 14 – Número de moles do metano no reator *parr.*

Dados	Área total	Área desconhecida	V desconhecido	n desconhecido	n metano
	$\mu V.s$	$\mu V.s$	mL	$mols$	$mols$
Reator 1	33471	8741	0,07	0,00272	80%
Reator 2	15369	8437	0,14	0,00571	60%
Reator 3	296368	-	-	-	-
Reator 4	447915	-	-	-	-
Reator 5	442621	-	-	-	-
Reator 6	472538	-	-	-	-

De acordo com a literatura, o potencial de produção de biogás para formação de metano através do esterco equino é de 60% (CATAPAN, 2012). É possível perceber que houve uma produção de metano relativamente alta nos 48 dias de acompanhamento dos biodigestores, mostrando que há produção de biogás a partir da matéria-prima em estudo. Este rendimento pode ser devido à alimentação (palha, frutas, verduras, etc.) do animal, outros fatores também podem ter influenciado para este rendimento, como a utilização do *trap* para reter o CO₂.

6 CONCLUSÃO

Com posse dos resultados obtidos dos parâmetros analisados neste projeto juntamente com as pesquisas realizadas na literatura, pode-se observar que a produção de biogás a partir do excremento animal deste projeto se encontra dentro da faixa recomendada para produtividade da formação de biogás, isto é, à eficiência do processo. A produção do metano teve um rendimento relativamente alto, propondo que este processo possa ser utilizado em locais propícios para geração de energia. Este projeto para produção de biogás possui várias vertentes, por isso, novas matérias-primas, biodigestores, regiões e até mesmo outros testes podem ser aplicados, para atestar a melhor possibilidade, para maior produção de metano, de forma sustentável e economicamente viável.

REFERÊNCIAS

- ABDELSALAM, E. et al. Comparison of nanoparticles effects on biogas and methane production from anaerobic digestion of cattle dung slurry. **Renewable Energy**, v. 87, p. 592-598, 2016.
- AFANAH, S. I. **Tecnologia de produção de biogás industrial e artesanal: uma proposta de abordagem para o ensino médio**, 2011.
- ALVES, C.; PIO, C.; GOMES, P. Determinação de hidrocarbonetos voláteis e semi-voláteis na atmosfera. **Quim. Nova**, v. 29, n. 3, p. 477-488, 2006.
- BEALE, D. J. et al. An ‘omics’ approach towards the characterisation of laboratory scale anaerobic digesters treating municipal sewage sludge. **Water research**, v. 88, p. 346-357, 2016.
- BENACI, V. **Avaliação de métodos de análise para carbono orgânico em amostras de interesse agrônomo**. Tese de Doutorado. Instituto Agrônomo, 2010.
- CABRAL, R. C. **Aproveitamento do biogás em aterros sanitários – especificações construtivas beneficiando aspectos ambientais e energéticos**. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia) IEE da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 138, 2009.

CATAPAN, D. C. et al. **Análise da viabilidade financeira da produção de biogás através de dejetos de equinos**. CEP, v. 81630, p. 050, 2012.

CATARINO, R. P.; GONZÁLEZ, A. P. N.; OLIVEIRA, L. R. P. Otimização da produção de metano na biodigestão da cama de frango. **I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais e Geração de Energia a partir de Resíduos Animais**. Santa Catarina, 2009.

DO CARMO, D. L.; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1211-1220, 2012.

CURRY, N.; PILLAY, P. Biogas prediction and design of a food waste to energy system for the urban environment. **Renewable Energy**, v. 41, p. 200-209, 2012.

DIETER, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources: an introduction**. 2008.

EHIMEN, E. A. et al. Anaerobic digestion of microalgae residues resulting from the biodiesel production process. **Applied Energy**, v. 88, n. 10, p. 3454-3463, 2011.

FELIZOLA, C. S.; LEITE, V.D.; PRASAD, S. Estudo do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás. **Agropecuária Técnica**. V. 27, n.1, 2006.

FRARE, L. M.; GIMENES, M. L.; PEREIRA, N. C. **Processo para remoção de ácido sulfídrico de biogás**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 14, n. 2, p. 167-172, 2009.

GALVANI, F.; GAERTNER, Eliney. Adequação da metodologia Kjeldahl para determinação de nitrogênio total e proteína bruta. **Embrapa Pantanal. Circular Técnica**, 2006

GONÇALVES, C. S. **Avaliação do Potencial de Geração de Biogás a partir de Resíduos de Boviniculturas na Área Metropolitana do Porto**. Tese de Doutorado. Universidade do Porto, 2010.

GONÇALVES, F. **Tratamento de camas de equinos por compostagem e vermicompostagem**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina. p.133, 2014.

HINÇA, A.; SOUZA, M. **Oportunidades da Cadeia Produtiva de Biogás para o Estado do Paraná**. 1 ed., v. 1, p. 144, 2016.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. 4. ed, p. 1020, 2008.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, São Paulo: IMESP. 3. ed., p. 21-22, 1985.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. São Paulo: IMESP. 3. ed, p. 27-28, 1985.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists** (method 900.02). Arlington: A.O.A.C., chapter 44. p. 3, 1996.

KARLSSON, T. et al. Manual básico de biogás. **Univates**. Lajeado, 1 ed., p.69, 2014.

KHAN, E. U. MARTIN, A. R. Review of biogas digester technology in rural Bangladesh. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 62, p. 247-259, 2016.

LINDEMEYER, R. M. **Análise da viabilidade econômico-financeira do uso do biogás como fonte de energia elétrica**. Trabalho de conclusão de estágio–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MOLLER, H. B. et al. Process performance of biogas digesters incorporating pre-separated manure. **Livestock Science**, v. 112, n. 3, p. 217-223, 2007.

MONTINGELLI, M. E. et al. Optimisation of biogas production from the macroalgae *Laminaria sp.* at different periods of harvesting in Ireland. **Applied Energy**, v. 177, p. 671-682, 2016.

NAIK, L. et al. Factors determining the stability and productivity of small scale anaerobic digesters. **Biomass and Bioenergy**, v. 70, p. 51-57, 2014.

OLIVEIRA, P.; HIGARASHI, M. M. Geração e utilização de biogás em unidade de produção de suínos. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves. **Série Documentos**, n. 115, 2006.

OLIVER, A. P. M. et al. Manual de treinamento em biodigestão. **Salvador: Winrock Internacional**, p. 23, 2008.

PEREIRA, G. **Viabilidade econômica da instalação de um biodigestor em propriedades rurais**. Dissertação (Pós-graduação em Modelagem Matemática) - Departamento de Tecnologia – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, Rio Grande do Sul, 2009.

PSU. Biogas and Anaerobic Digestion, Pennsylvania State University, **Department of Agricultural and Biological Engineering**, 2016. Disponível em: <<http://www.biogas.psu.edu>>. Acesso em: 24 ago. 2016.

ROHSTOFFE, F. N. Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização. **Ministério da Nutrição, Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha**, 2010.

ROYA, B. et al. Biogás – uma energia limpa, **Revista Eletrônica Novo Enfoque**, v. 13, n. 13, p. 142 – 149, 2011.

RYCKEBOSCH, E.; DROUILLON, M.; VERVAEREN, H. Techniques for transformation of biogas to biomethane. **Biomass and bioenergy**, v. 35, n. 5, p. 1633-1645, 2011.

SILVA, D. F. et al. Análise de nitrato e amônio em solo e água. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, p. 55, 2010.

TAFDRUP, S. Produção de energia viável e reciclagem de resíduos da digestão anaeróbia de estrume e de outras biomassas. **Biomassa Bioenergy**, p. 303-314, 1995.

TIAGO, P. V.; MELZ, E. M.; SCHIEDECK, G. Comunidade de bactérias e fungos de esterco antes e após vermicompostagem e no substrato hortícola após uso de vermicomposto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 2, p. 187-192, 2008.

TRANI, P. E. et al. Adubação orgânica de hortaliças e frutíferas. **Instituto Agronômico de Campinas, IAC**, 2013.

VAN ELK, A. G. H. P. Redução de emissões na disposição final de Resíduos Sólidos. **Rio de Janeiro: IBAM**, p.27, 2007.

VARNERO, M. T. Manual de biogás. **Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura**, 2011.

VILLELA I. A. C; SILVEIRA, J. L. Aspectos técnicos da produção de biogás em um laticínio. **Janus**, v. 2, n. 2, 2008.

XU, F. et al. Comparison of digestate from solid anaerobic digesters and dewatered effluent from liquid anaerobic digesters as inocula for solid state anaerobic digestion of yard trimmings. **Bioresource technology**, v. 200, p. 753-760, 2016.

ZANTA, V. M. **Análise do gerenciamento de resíduos de gesso no município de Salvador-BA**, Salvador, 2013.

ZHAI, N. et al. Effect of initial pH on anaerobic co-digestion of kitchen waste and cow manure. **Waste Management**, v. 38, p. 126-131, 2015.

ZHANG, Q.; HU, J.; LEE, D. Biogas from anaerobic digestion processes: Research updates. **Renewable Energy**, 2016.