



REVISTA
INTERDISCIPLINAR DE
PESQUISA EM
ENGENHARIA

CONSTRUÇÃO, OPERAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E ENERGÉTICA DO BIOGÁS PRODUZIDO EM BIODIGESTOR EXPERIMENTAL.

Carlos Felipe Ilha Pereira, Marcelo Bento Silva, Maria Pilar Hidalgo Falla, Wytler Cordeiro dos Santos

Universidade de Brasília Campus UnB-Gama, Área Especial de Indústria

Projeção A, UNB - DF-480 Gama Leste, 72444-240, Brasília - DF, BRAZIL

Resumo: A biodigestão anaeróbia é uma alternativa renovável de energia. Neste estudo os objetivos foram a análise de seus fundamentos, a construção e operação de um biodigestor, a identificação dos parâmetros que influenciam na obtenção do gás metano e sua caracterização através da técnica analítica de espectroscopia de IR. Para a realização do trabalho, desenvolveu-se um protótipo para monitoramento e obtenção de gás metano, caracterização do biogás por meio do espectrômetro *Thermo Scientific Nicole iS10 FT-IR* e quantificação da energia do biogás com transferência dessa energia à água com posterior quantificação do gás metano presente no biogás. Para tanto, utilizou-se de dados da literatura que listam a quantidade energia obtida na queima do biogás. Os resultados apontaram a produção de metano, dióxido de carbono, água (vapor) e outros compostos previstos nas equações parciais. Por meio da análise espectroscópica, identificou-se que a variação da concentração de metano, no decorrer do tempo, aumentou até o 12^o dia. Observou-se que a presença de gás oxigênio, no início da reação, e o formato da câmara de biodigestão interferem na obtenção do gás metano. A temperatura do reator influenciou a grandeza de vazão do metano.

Palavras-chave: Biodigestor, Biodigestão Anaeróbia, Metanogênese, Espectroscopia.

Abstract: *Anaerobic biodigestion is a renewable alternative energy. In this study, the objective were analysis of its foundations, the construction and operation of a biodigester, the identification os the parameters that influence in obtaining methane gas and characterization through analytical technique of IR spectroscopy.. To implementation this work, developed a prototype for monitoring and obtaining of methane gas, the biogas characterization through the spectrometer Thermo Scientific Nicole iS10 FT-IR and quantification of energy from biogas with transfer this energy to water with subsequent quantification of methane gas gift in biogas. The*

instrument used is the literature that list the quantity energy obtained from burning the gas. The results indicated the methane production, carbon dioxide, water (steam) and other compounds provided in partial equations. Through the spectroscopic analysis, it was identified that the change in methane concentration, in the course of time, increased until the 12⁰ th day. It was observed that the gas oxygen presence at the reaction beginning and the shape of the digestion chamber interfere with obtaining methane. The reactor temperature influenced the methane flow greatness.

Keywords: Biodigester, Anaerobic Digestion, Methanogenesis, Spectroscopy.

Resume: *Biodigestión anaerobia es una energía alternativa renovable. En este estudio los objetivos fueron analizar los fundamentos, la construcción y el funcionamiento de un digester, la identificación de los parámetros que influyen en la obtención de gas metano y su caracterización por la técnica analítica de la espectroscopia de IR. Para realizar este trabajo, se desarrollo un prototipo para monitoreo y obtención de gas metano, para la caracterización de biogás fue utilizado el equipo Thermo Scientific Nicole IS10 espectrómetro FT-IR fue cuantificada la energía del biogás con la transferencia de energía del gas a agua y se calculo la cantidad de metano en el biogás. Para tal fin, fue utilizado los datos de la literatura que enumera la energía obtenida de la quema de del gas. Los resultados indican la producción de metano, dióxido de carbono, agua (vapor) y otros compuestos previsto en las ecuaciones parciales. A través del análisis espectroscópica, se encontró que la variación de la concentración de metano aumentó hasta el día 12⁰. Se observó que la presencia de gas oxígeno, al principio de la reacción, y la forma de la cámara de digestión interfieren en la obtención de gas metano. La temperatura del reactor influye en la grandeza de flujo de metano.*

Palabras clave: biodigestores, digestión anaeróbica, Metanogenesis, espectroscopia.

1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa, que se desenvolveu a partir da disciplina “Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)”, do curso de Engenharia de Energia da Universidade de Brasília (UnB), ocorreu no âmbito de energias renováveis. O objetivo geral foi analisar os fundamentos da biodigestão e identificar parâmetros que influenciam na obtenção do gás metano e sua caracterização por meio da técnica análise instrumental de espectroscopia. Os objetivos específicos compreenderam construir o biodigestor, realizar testes de funcionamento para a obtenção de biogás e determinar a quantidade de energia do gás produzido.

O processo de biodigestão anaeróbia é uma forma de conversão de matéria orgânica que resulta na produção de metano. O físico Alessandro Volta foi o primeiro a identificar o ar combustível – como era chamado o gás metano – formado com os sedimentos de rios e lagos, que mais tarde daria origem ao conhecimento do processo químico (SILVA, 2009).

Na oxidação anaeróbia, as bactérias utilizam componentes químicos. Os principais são: nitratos (NO_3^-), sulfatos (SO_4^-) e dióxido de carbono (CO_2). A biodigestão anaeróbia também ocorre nas estações de tratamento de esgoto doméstico. Os microrganismos são confinados em reatores biológicos que otimizam o processo e obtêm a maior eficiência possível, com objetivo de evitar imposições quanto à reutilização ou proteção de corpos receptores (SILVA, 2009).

Para o desenvolvimento desse assunto, optou-se por estruturá-lo em quatro tópicos. No primeiro deles, aborda-se o processo de biodigestão anaeróbia que ocorre com hidrólise, acetogênese e metanogênese que, por meio de bactérias metanogênicas, obtém-se, principalmente, metano e dióxido de carbono.

O segundo tópico compreende a análise instrumental de espectroscopia no infravermelho (IR), a construção de cela de gás para análise no IR e a Lei de Lambert-Beer. Os dois primeiros procedimentos permitem identificar grupos funcionais presentes em um composto químico. Utilizou-se uma câmara específica para gás já concebida em outro estudo. Através da Lei de Lambert-Beer foram relacionadas as razões entre concentrações de metano, das diferentes amostras, obtidas por meio da análise instrumental.

O terceiro tópico aborda os materiais e os métodos de construção, operação e monitoramento do biodigestor para a coleta das amostras de gás e devidos procedimentos para determinar grandezas físicas necessárias para alcance dos resultados.

O quarto tópico corresponde aos resultados finais. Nessa parte, demonstra-se a análise dos fundamentos da biodigestão, a qual confirma os resultados esperados. Foram tabelados os

resultados dos dias de operação do biodigestor e desenvolvidos gráficos espectrais das amostras colhidas. Por fim, a conclusão apresenta reflexões a respeito dos resultados obtidos.

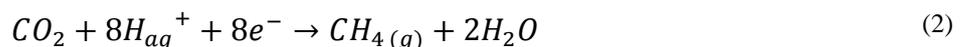
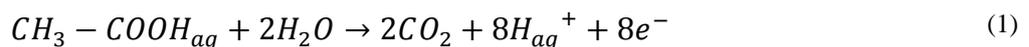
2 BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

A biodigestão ocorrida com resíduos gerados no setor industrial produz uma mistura de metano, dióxido de carbono, nitrogênio, hidrogênio, gás sulfídrico e outros gases. O metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) são os componentes em maior quantidade, com 60% e 39% respectivamente (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2008).

Os processos anaeróbicos são produtores de energia através do biogás utilizado. Esses processos têm baixa produção de biomassa celular, já que utilizam somente 10% dos nutrientes necessários para o processo anaeróbio (CORTEZ *et al.*, 2008).

Na fase metanogênica da biodigestão anaeróbica existem duas formas dos microorganismos produzirem metano: convertendo ácidos, o que forma metano, dióxido de carbono e ácidos orgânicos; ou reduzindo o dióxido de carbono. Essa forma de produzir metano depende dos compostos envolvidos. É nessa etapa em que se determina a duração do processo anaeróbio e que se controla a taxa de conversão, logo, é necessário manter condições físico-químicas para favorecê-la, como o pH e a temperatura (CORTEZ *et al.*, 2008).

O processo químico ocorre em diferentes etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Dessas, duas são fundamentais: acidogênica e metanogênica, apresentadas respectivamente nas equações (1) e (2).



Esse processo químico apresenta vantagens como: menor consumo de energia do que um processo aeróbico tradicional, menor produção de lodo que acarreta em menores custos – já que o lodo precisa de disposição final –, aceita maiores taxas de matéria orgânica e o metano resultante pode ser utilizado como combustível (CORTEZ *et al.*, 2008).

Com maior tempo de retenção do que os processos aeróbicos, a biodigestão anaeróbia também produz gases que causam corrosão e odores ruins, podendo necessitar de energia extra para elevar a temperatura da mistura a 35⁰ C e obter taxas adequadas de conversão (CORTEZ *et al.*, 2008).

3 ANÁLISE INSTRUMENTA

3.1 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO

Segundo Barbosa (2007), a espectroscopia no infravermelho é uma técnica analítica utilizada para a identificação de compostos orgânicos, inorgânicos e análise de misturas complexas, como gasolina e poluentes atmosféricos. Essa técnica baseia-se na quantidade de energia emitida ou absorvida por uma molécula, em uma determinada banda de absorção (número de ondas), para determinar qual grupo funcional está presente.

A radiação infravermelha (IR) corresponde à parte do espectro eletromagnético situada entre as regiões de visível e micro-ondas. A faixa que compreende de 4000 cm^{-1} a 400 cm^{-1} é de grande interesse em processos químicos devido à enorme quantidade de substâncias, principalmente os compostos orgânicos que têm grupos funcionais listados nessa faixa de absorção (SILVERSTAIN *et al.*, 2012). A faixa que ocorreu absorbância depende das vibrações desenvolvidas pelas moléculas na incidência do feixe do espectrômetro. Existem outros registros de faixas de absorção dos grupos funcionais na literatura relacionada à espectrometria no infravermelho.

Uma molécula simples pode ter um espectro complexo devido aos vários modos vibracionais que possui. A radiação no infravermelho converte-se em energia de rotação e de vibração molecular. Na faixa que será analisada, o espectro vibracional aparece como uma série de bandas, visto que cada mudança de nível de energia vibracional corresponde a uma série de alterações de níveis de energia rotacional. A posição da banda em que ocorrem picos de absorbância é dependente das massas relativas dos átomos, das forças de ligações e da geometria dos átomos (SILVERSTAIN *et al.*, 2012).

O número exato de bandas relatadas pelos autores, Barbosa (2007) e Silverstain (2012), dificilmente será identificado em um espectro de IR obtido nas análises instrumentais, visto que ocorrem: harmônicos, algumas vibrações muito próximas uma das outras ou muito fracas, entre outras interferências que inibem a identificação.

3.2 CELA DE GÁS PARA ANÁLISE NO IR

Alguns instrumentos de análise espectroscópica não possuem como item de série uma cela de gás para executar a análise. Celas como essa podem custar, no mínimo, US\$300,00. No entanto, é possível confeccionar uma célula com gasto baixo e materiais que podem ser facilmente adquiridos (COLATI *et al.*, 2010).

Uma célula de gás deve conter entradas, saídas e janelas. Sua dimensão pode estar relacionada com as dimensões da câmara de análise já existente no instrumento. Pastilhas de Brometo de Potássio (KBr) são utilizadas para as janelas da cela de gás.

Para a análise do gás produzido no biodigestor foi utilizado um espectrômetro da marca *Thermo Scientific Nicolet*, juntamente com a cela para análise gasosa confeccionada no laboratório de Células Fotovoltáicas FGA/UnB. Na Figura (1) é apresentado o espectrômetro com a cela de gás acoplada (JÚNIOR; 2013).



Figura 1: Espectrômetro com a célula acoplada.

4 METODOLOGIA

Entre os meses de março e julho de 2014, desenvolveu-se o estudo de um biodigestor experimental, o qual foi projetado para servir aos aspectos demandados. Não foram construídas caixas de entrada e saída. A regulação de pressão foi projetada para não ocorrer perdas de gás e danos aos *Tedlar Bag's*. Testes de vazamento (utilizando-se uma coluna d'água de pressão na entrada do sistema e acompanhamento do valor de pressão) foram desenvolvidos, a fim de garantir que o modelo contemplasse os requisitos.

Os materiais utilizados na construção do biodigestor (Fig. (2)) foram: recipiente de 20L, tubos de PVC, mangueiras de silicone e conexões para gás. O carregamento do biodigestor foi feito com utilização de dejetos suínos (da Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília–FAL/UnB). Esses dejetos foram diluídos em água, com relação esterco: água em kg de 1:1,3, cujo valor está especificado na literatura.



Figura 2: Biodigestor construído.

O biodigestor foi monitorado diariamente quanto a sua temperatura e quantidade de gás produzido. Para a medição da temperatura utilizou-se um pirômetro. O gás foi coletado com *bag's* e foram levados para análise de composição no espectrômetro. Para a caracterização do biogás foi utilizada uma câmara de gás específica para o espectrômetro da marca e modelo Thermo Scientific Nicole iS10 FT-IR.

Com o auxílio do software Origin 7.0 foram produzidos gráficos de absorvância versus número de onda. A utilização de um béquer de 40 ml, um bico para queima do gás e de termômetro para a leitura da temperatura da água, o que possibilitou determinar a quantidade de energia transferida ao líquido. Tomando como base informações tabeladas, pôde-se encontrar a concentração de metano no biogás.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A produção de gás ocorreu conforme os dados listados na Tabela (1).

Tabela 1: Dados das coletas de biogás.

Coleta	Data de produção do gás	Volume (ml)	Temperatura (°C)	Tempo de produção	Vazão (ml/h)
1 ^a	17/04 a 25/04	2120	28	-	-
2 ^a	25/04 a 29/04	<1060	20	-	-
3 ^a	29/04	1060	29,2	5h40	187,3
4 ^a	09/05	2120	27	7h40	276,5
5 ^a	14/05	910	34,4	2h00	455
6 ^a	21/05	1060	30,1	4h00	265

A análise espectroscópica do gás foi feita de modo a determinar os principais compostos, presentes nas amostras, tendo como premissa inicial que o processo químico estabelecido foi a biodigestão anaeróbia. A Figura (3) demonstra o Espectro obtido para as coletas de biogás.

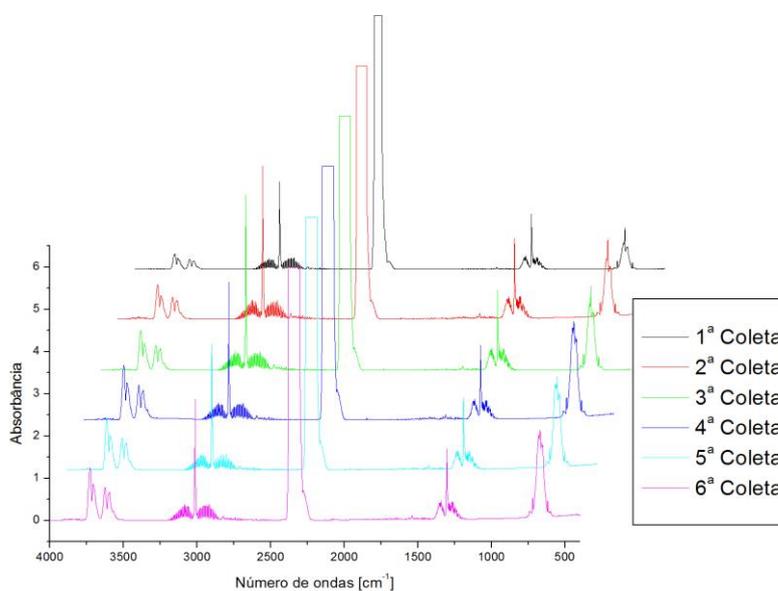


Figura 3: Espectro obtido para a primeira coleta de biogás.

A compreensão do espectro de IR ocorre por meio da análise de um espectro comparado com dados já identificados e registrados na literatura. Ao utilizar as tabelas de BARBOSA (2007) e SILVERSTAIN (2012), algumas das absorções esperadas não foram observadas.

A presença de alcano é confirmada com a existência de absorção na região próxima a 1400 cm^{-1} (deformação angular do alcano). Esse pico da região de 3015 cm^{-1} identifica, muito provavelmente, que, devido às condições químicas estabelecidas ocorre absorção de estiramento simétrico e assimétrico para a molécula do metano.

A diferença entre o número de ondas esperado (2885 a 2975 cm^{-1}) e o número de ondas encontrado na região de absorção de alcano constitui-se um fenômeno normal para a técnica utilizada. A diferença entre o número de ondas de absorção nessa região foi de 1,3%, um valor pequeno e aceitável nas condições experimentais em que ocorreram os testes, as quais se compuseram de utilização de cela de gás de pequeno caminho óptico e construída na universidade, bem como a utilização de uma mistura de gases e realização da análise espectroscopia com *background* do ar seco.

A Tabela 2 apresenta os valores de absorbância para $\bar{\nu} = 3015\text{ cm}^{-1}$ para cada amostra de gás e expõe a diferença percentual entre concentração da amostra 1 e as outras amostras.

Tabela 2: Relação entre concentrações de metano nas amostras de biogás

Amostra		1	2	3	4	5	6
	Absorbância	2,06787	3,63712	4,14299	3,25872	2,99973	2,86498
1	2,06787		+75,9%	+100,35%	+57,59%	+45,06%	+38,55%

É possível observar na Tabela 2 aumento percentual da concentração de metano até o 12^o dia (3^a amostra) de produção de gás em todas as amostras. Como a reação foi iniciada em condição de atmosfera com oxigênio e não a atmosfera inerte (trata-se de processo anaeróbico, portanto o oxigênio é desfavorável). Ocorreu uma menor concentração de gás metano no início do processo, visto que o volume morto do biodigestor é suficientemente grande para diluir o metano que seria inicialmente produzido. Isso resultou em maior tempo para iniciar a reação devido a condição anaerobia favorecer as bactérias criofílicas, mesofílicas e termofílicas.

A partir do monitoramento de produção do biodigestor pôde-se estabelecer que a barreira imposta pela coluna de matéria orgânica resulta em dificuldades para o desprendimento do gás produzido. Para uma maior profundidade melhor seria a isolação da solução de esterco e água em relação ao oxigênio atmosférico existente quando o sistema não é evacuado. Agregando-se a essas interferências para a obtenção do metano, a criação de uma câmara de biodigestão com menor profundidade e um mesmo volume proporcionará maior facilidade da obtenção do gás.

Ao realizar a combustão do biogás, verificou-se o aquecimento do conjunto béquer e água a diferentes temperaturas. Obteve-se um valor de quantidade de calor e energia específica que foi transferida da chama do gás ao conjunto. Aplicando-se aproximações acerca dos valores de eficiência de conversão e quantidade de energia contida no biogás com determinada concentração de metano. Posteriormente, foi quantificada a energia contida no biogás: 13805 KJ/m³. A elevação de temperatura foi de 70 °C em 35g de água no béquer, considerando-se a eficiência de troca de calor com o béquer é de 60%, a concentração de metano no biogás produzido foi de 33%.

6 CONCLUSÃO

Este estudo buscou analisar os fundamentos da biodigestão e identificar parâmetros que influenciam na produção e obtenção do gás metano, assim como realizar a análise espectroscópica do biogás. Além disso, construir o biodigestor, realizar testes de funcionamento e determinar a quantidade de energia do gás produzido, por meio da combustão, integra o trabalho de modo garantir solidez ao assunto.

Identificou-se que a temperatura é um importante regulador da velocidade de reação e obtenção do metano, assim como o formato da câmara de biodigestão que modifica a pressão necessária para o gás vencer a coluna de matéria orgânica até que alcance o gasômetro.

No biogás estava contida uma quantidade representativa de dióxido de carbono, metano, além de vapor d'água. A quantidade de metano no biogás aumentou do início até antes do meio do ciclo de coletas estabelecido. Mesmo que contivessem contaminantes e quantidade representativa de outros gases na mistura, estabeleceu-se uma chama com o gás; a energia foi mensurada. A combustão do gás complementa a análise espectral e confirma que a molécula, que foi o mais importante objeto deste estudo e que absorveu energia quando o número de ondas esteve na região dos 3000 cm⁻¹, é o integrante majoritário do biogás, o metano.

Por todos esses aspectos apresentados, pode-se inferir que os objetivos da pesquisa foram atingidos, visto que se obteve energia a partir da realização experimental de biodigestão anaeróbia, e que foram identificados os principais compostos resultantes desse processo, o que proporcionou a identificação de qualidade da ocorrência da biodigestão realizada. Por fim, também foram obtidas características dos aspectos construtivos que devem ser levadas em conta para o desenvolvimento de biodigestores experimentais.

7 REFERÊNCIAS

- BARBOSA, L. C. A. “Espectroscopia no infravermelho na caracterização de compostos orgânicos”. Editora UFV, Viçosa, p. 13-60, 2007.
- CORTEZ, L. A. B; LORA, E.E.S; GÓMEZ, E.O. “Biomassa para energia”. Editora da Unicamp, Campinas, 2008.
- COLATI, K. A. P; SANTOS, R. B.; JÚNIOR, C. G. Z.; FILHO, E. N. CUNHA, A. G.;
Construção de uma célula de gás de baixo custo para análise no infravermelho. Nota técnica, Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.
- JÚNIOR, L. O. Efeitos da injeção de água na performance e característica de emissões em motores diesel de injeção direta utilizando misturas diesel-biodiesel. Projeto de graduação, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- SILVA, W. R. “Estudo cinético do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos vegetais”. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.
- SILVERSTAIN, R. M; Webster, F. X; Kiemle D. J. “Identificação espectrométrica de compostos orgânicos”. Editora LTC, 7. Ed. Rio de Janeiro, 2006.