**ANÁLISE COMPARATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE DOIS BIODIGESTORES ANAERÓBIOS DE PEQUENA ESCALA**

Sávio Henrique de Barros Holanda*, Mário José da Silva Júnior, Miguel Antônio Pires Kelm, Antônio Rodrigues de Brito, José Fernando Thomé Jucá

* Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Grupo de Resíduos Sólidos (GRS/UFPE) / Doutorando em Engenharia Civil – Geotecnia. E-mail: savioholanda@hotmail.com

RESUMO

A tecnologia da digestão anaeróbia é uma tecnologia amplamente difundida e cobijada por muitas regiões ao redor do mundo. Uma série de vantagens, dentre as quais incluem o baixo custo de instalação, flexibilidade de uso de diversos substratos e inóculos, e subprodutos altamente valorizados (biogás e biofertilizante) são as principais características desta tecnologia. O biogás, mistura gasosa composta principalmente por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), e o biofertilizante, consistem em poderosos subprodutos úteis como combustível e como fertilizantes de solos. Neste estudo, objetivou-se realizar um estudo comparativo biodegradativo entre dois tipos de biorreatores, onde o primeiro é composto por um vidro borossilicato, uma tampa de nylon e conexões de latão, e o segundo, integralmente composto por aço inox 316 L. A condutividade térmica apresentada pelo aço inox influenciou a cinética de degradação do substrato, refletindo diretamente na produção de biogás. A estanqueidade apresentada pelo mecanismo de compressão entre a tampa e o corpo do equipamento, exercida pelas hastes de fixação, e pela soldagem das conexões é característica quando comparadas com os biorreatores compostos de latão e vidro de borossilicato. A resistência à oxidação química e a choques mecânicos também é característica peculiar do aço inox, evitando, assim, o surgimento de fissuras/fraturas e a fuga do biogás.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos urbanos; Biodegradação; Digestão anaeróbia; Biodigestores; Biogás.

ABSTRACT

Anaerobic digestion technology is a technology widely disseminated and coveted by many regions around the world. A number of advantages, including low installation cost, flexibility of use of various substrates and inocula, and highly valued by-products (biogas and biofertilizer) are the main characteristics of this technology. Biogas, a gas mixture composed primarily of methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂), and the biofertilizer, consist of powerful by-products useful as fuel and as soil fertilizers. In this study, a biodegradable comparative study was carried out between two types of bioreactors, where the first one consists of a borosilicate glass, a nylon cover and brass connections, and the second, composed entirely of 316L stainless steel. The conductivity thermal analysis presented by the stainless steel influenced the kinetics of substrate degradation, directly reflecting the biogas production. The tightness shown by the compression mechanism between the cover and the body of the equipment, exerted by the fixing rods, and by the welding of the connections is characteristic when compared with the bioreactors composed of brass and borosilicate glass. Resistance to chemical oxidation and mechanical shock is also characteristic of stainless steel, thus avoiding the appearance of cracks / fractures and leakage of biogas.

KEY WORDS: Municipal solid waste; Biodegradation; Anaerobic digestion; Biodigesters; Biogas.

INTRODUÇÃO

A produção de resíduos sólidos urbanos, parâmetro diretamente associado ao crescimento populacional global, ao processo de industrialização e à crescente urbanização, é determinante para a ocorrência do intenso processo de degradação ambiental. Estima-se que o mundo produza cerca de 1,7 – 1,9 bilhão de toneladas de resíduos sólidos urbanos, anualmente (CHEN et al., 2016).

Diante do cenário, uma variedade de pesquisas tem sido desenvolvida no intuito de reaproveitar e valorizar materiais residuais recicláveis e não recicláveis, transformando-os e reutilizando-os na forma de calor, eletricidade, ou combustíveis e substâncias químicas através de diversos processos, dentre eles a pirólise, gaseificação, combustão, digestão anaeróbia, além do aproveitamento do biogás de aterros sanitários e de plantas de tratamento de esgotos domésticos (CHEN et al., 2016).

O processo de digestão anaeróbia consiste numa das mais antigas e bem estudadas tecnologias de tratamento de resíduos sólidos, que visam à estabilização de resíduos orgânicos. Esta técnica evidencia-se devido aos seus baixos impactos ambientais e seu alto potencial de recuperação energética, esta vantagem face à grande demanda energética existente na atualidade (ARIUNBAATAR et al., 2014).



Este processo tecnológico baseia-se na atividade biológica de conversão de substratos orgânicos complexos a biogás, na ausência de oxigênio molecular, sendo composta por quatro fases distintas e contínuas, as quais são: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (EK et al., 2011; ARIUNBAATAR et al., 2014; WANG et al., 2014). Na primeira etapa, fase hidrolítica, ocorre a quebra de carboidratos, gorduras e/ou proteínas com elevado peso molecular em polímeros solúveis através de ação enzimática proveniente de bactérias hidrolíticas fermentativas e a conversão destes polímeros em ácidos orgânicos, hidrogênio e CO₂, migrando assim para a fase acidogênica, caracterizada pela formação de ácidos orgânicos. Na sequência, há a conversão de ácidos graxos voláteis (AGV) em ácido acético pelas bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio, e finalmente, na metanogênese, onde as bactérias metanogênicas convertem ácido acético e hidrogênio em CO₂ e CH₄ (ANGELIDAKI et al., 2009).

Constituindo-se em um processo fundamental em projetos que objetivam ao aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos, o qual utiliza como ferramenta o teste para determinação do potencial final de produção de metano, o ensaio que avalia o potencial bioquímico do metano (ou ensaio BMP - *Biochemical Methane Potential*) apresenta uma ampla aceitação pela comunidade científica especializada, devido ao seu baixo custo e facilidade de montagem e de operação (OWEN et al., 1979; CHYNOWETH et al., 1993; ALVES, 2008; ANGELIDAKI et al., 2009; WANG et al., 2014).

Este ensaio é realizado através da utilização de uma pequena fração de resíduos sólidos urbanos (substrato) e de inóculo (fonte de umidade e microrganismos), onde o agente decompositor atua na biodegradação do substrato, durante aproximadamente 60 dias, produzindo, como subprodutos, o biogás e um material sólido bioestabilizado, utilizados como matéria-prima para a geração de energia térmica, elétrica ou de movimento (cinética), e no setor agrícola, como fertilizante, respectivamente (RAPOSO et al., 2011; ADEKUNLE e OKOLIE, 2015).

A fim de avaliar o melhor desempenho da geração acumulada e da taxa de geração de biogás proveniente da codigestão de resíduos sólidos urbanos com lodo de esgoto anaeróbio, provenientes das estações de tratamento de esgoto (ETE), realizou-se uma análise comparativa entre os biorreatores BMP tradicionais, desenvolvido por Alves (2008), e BMP inox, desenvolvido por Holanda (2016).

OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho da geração de biogás resultante da codigestão anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos com lodo de estações de esgoto anaeróbio, realizando uma análise comparativa entre os biorreatores BMP tradicionais, utilizado por Alves (2008), e BMP inox, desenvolvido por Holanda (2016).

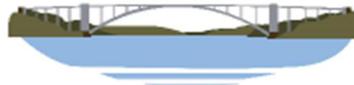
METODOLOGIA

Área de coleta de resíduos sólidos urbanos

No dia 09 de junho de 2015, foi realizada, na célula experimental do aterro da Muribeca-PE, a escavação e a coleta de um montante de 150 kg de resíduos sólidos urbanos, com oito anos de envelhecimento no aterro. Estes resíduos possuem, portanto, considerável quantidade de materiais com alta resistência ao processo biodegradativo, como por exemplo, plásticos, representando 36% do montante. O procedimento de mineração executado (figura 1) consiste na retirada da cobertura vegetal, em seguida a retirada da camada de cobertura, para posterior coleta dos resíduos. Os RSU coletados foram classificados mediante a técnica de quartejamento e a caracterização gravimétrica.



Figura 1 - Procedimento de escavação/mineração dos resíduos aterrados: (a) remoção da cobertura vegetal; (b) remoção da camada de cobertura; (c) coleta do resíduo aterrado, (d) quartejamento do resíduo, (e) amostragem do resíduo e (f) caracterização gravimétrica. Fonte: Extraído de HOLANDA (2016)



Lodo de esgoto anaeróbio

No dia 26 de agosto de 2015, foi realizada a coleta de 15 L de lodo de esgoto anaeróbio, proveniente de um reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB ou RAFA), existente na Estação de Tratamento de Esgotos – ETE Mangueira, em Recife-PE.

Instrumentação dos biorreatores

Biorreatores BMP

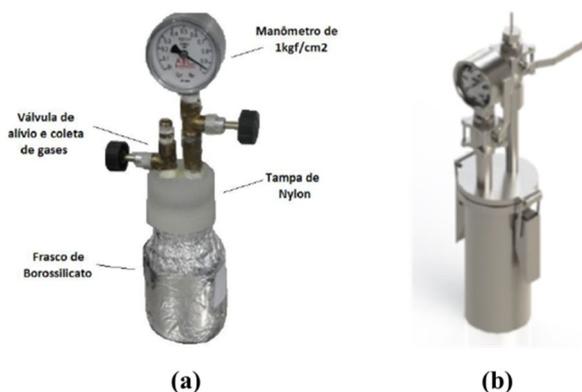


Figura 2 – (a) Biorreator BMP tradicional; (b) Biorreator BMP inox. Fonte: Firmo (2013) e Holanda (2017).

Biorreator BMP tradicional

Conforme apresentado na Figura 2(a), o biorreator BMP tradicional é formado por um frasco de borossilicato, em formato de garrafa, com capacidade de 250 mL, sendo rosqueado, em sua abertura superior (rosqueamento tipo macho), que permite seu acoplamento a uma tampa de nylon, rosqueada (rosqueamento tipo fêmea), realizando uma pressão de fixação da tampa com o frasco. Um “o-ring” presente entre a tampa de nylon e o frasco de borossilicato realiza o papel de material selante, que impede o fluxo (entrada ou saída) de gás oxigênio ou biogás.

Biorreator BMP inox

Este equipamento consiste numa garrafa, com capacidade para um volume de 443,0 mL, com tampa em aço inox; 1 manômetro de 0 a 1,0 bar (escala de 0,02), caixa com 50 mm aço inox; válvula tipo esfera em aço inox; conexões de 1/8” em aço inox; 1 anel de vedação (HOLANDA, 2016).

Este tipo de equipamento, totalmente fabricado em aço inox “316 L”, não permite que os feixes de luz, provenientes do meio externo, afetem a atividade bioquímica existente em seu interior. No topo do corpo do reator, há ranhuras que assentam perfeitamente o “o-ring”, mantendo-o fixo. Sua tampa é provida de dois prolongamentos, em extremidades opostas (180°), que fornecem apoio às alças, localizadas no corpo do reator.

Ensaio que avalia o potencial bioquímico do metano – Ensaio BMP

Para a realização do referido teste, foram inseridos em biorreatores de pequena escala (BMP), alíquotas de 5 g de RSU e de 50 mL de lodo de esgoto anaeróbio. Na sequência, foi inserido, no interior dos biorreatores, um fluxo de gás nitrogênio, a fim de permitir o estabelecimento de um ambiente anaeróbio, através da purga do oxigênio.

Por fim, os biorreatores foram inseridos em estufas de secagem e esterilização, sob temperatura mesofílica (37°C), cujo monitoramento foi realizado diariamente, fazendo-se a leitura e o registro das pressões internas (manômetro) presentes em cada biorreator, particularmente.

RESULTADOS

Com base nos resultados obtidos durante a realização do experimento, foi possível observar certa similaridade entre ambos os biorreatores, no que diz respeito à geração acumulada do biogás produzido. Nos primeiros dias, a cinética de degradação biológica ocorreu de forma intensa, visto que há grande quantidade de compostos orgânicos de fácil assimilação e, devido a isso, há quantidade considerável de biogás gerado, conforme expostos nas Figuras 3 e 4.

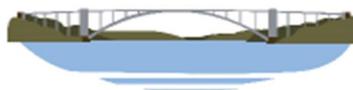


Figura 3 – Potencial de geração de biogás da amostra controle de resíduos sólidos urbanos “RSU + água” ocorrentes em biorreatores tradicionais e inox.

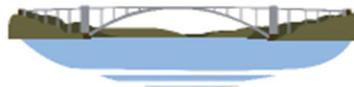


Figura 4 – Potencial de geração de biogás da amostra resíduos sólidos urbanos “RSU + Lodo” ocorrentes em biorreatores tradicionais e inox.

O BMP inox apresenta um bom desempenho diante do BMP tradicional, uma vez que tem uma elevada condutividade térmica. Possui, também, maior capacidade de estanqueidade (redução de possíveis pontos de vazamento de biogás), pelo fato de suas conexões serem soldadas.

CONCLUSÕES

Confrontando os dois biorreatores, o biorreator de inox teve atuação levemente superior ao tradicional no começo da biodegradação dos resíduos sólidos. Em relação ao processo de vedação, o inox é mais eficiente por dispor de um mecanismo de “pressão de compressão” e impedir a transferência de gases entre os meios interno e externo. Sobre a composição química, o biorreator inox é mais oportuno, uma vez que sua constituição é mais resistente ao processo oxidação química do gás sulfídrico presente no biogás (CHEN et al., 2008), possuindo, portanto, maior durabilidade e tempo de vida útil ao equipamento.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADEKUNLE, K. F.; OKOLIE, J. A. 2015. A Review of Biochemical Process of Anaerobic Digestion. **Advances in Bioscience and Biotechnology**, n. 6, 205-212.
2. ALVES, I.R.F.S. (2008). Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos. Dissertação de Mestrado. Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. 117p.
3. ANGELIDAKI, I.; ALVES, M.; BOLZONELLA, D.; BORZACCONI, L.; CAMPOS, J. L.; GUWY, A. J.; KALYUZHNYI, S.; JENICEK, P.; VAN LIER, J. B. 2009. Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. **Water Science & Technology-WST**, 927-934.
4. ARIUNBAATAR, J.; PANICO, A.; ESPOSITO, G.; PIROZZI, F.; LENS, P. N. L. 2014. Pretreatment methods to enhanced anaerobic digestion of organic solid waste. **Apply Energy**, 123, 143-156.
5. CHEN, Y.; CHENG, J. J.; CREAMER, K. S. (2008). Inhibition of anaerobic digestion process: a review. **Bioresource Technology** 99, 4044-4064.
6. CHEN, P.; XIE, Q.; ADDY, M.; ZHOU, W.; LIU, Y.; WANG, Y.; CHENG, Y.; LI, K.; RUAN, R. 2016. Utilization of municipal solid and liquid wastes for bioenergy and bioproducts production. **Bioresource Technology**, 215, 163-172.
7. CHYNOWETH, D. P.; TURICK, C. E.; OWENS, J. M.; JERGER, D. E.; PECK, M. W. 1993. Biochemical Methane Potential of Biomass and Waste Feedstock. **Biomass and Bioenergy**, v. 5, 95-111.
8. EK, A.E.W.; HALLIN, S.; VALLIN, S.; SCHNÜRER, A.; KARLSSON, M. 2011. Slaughterhouse waste co-digestion – Experiences from 15 years of full-scale operation. **World Renewable Energy Congress 2011 – Sweden**, 8-13 May, Linköping.
9. HOLANDA, S. H. B. Uso de consórcio microbiano facultativo no estudo da biodegradação e geração de biogás de resíduos sólidos urbanos envelhecidos em aterros. 2016. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.
10. HOLANDA, S. H. B.; BRITO, A. R. ; JUCÁ, J. F. T. ; WISNIEWSKI JR., A. BIORREATOR PARA DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOMETANO EM AMBIENTE ANAERÓBICO. 2017, Brasil.
Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR1020170041700, título: "BIORREATOR PARA DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOMETANO EM AMBIENTE ANAERÓBICO" , Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito PCT: 02/03/2017. Instituição(ões) financiadora(s): Universidade Federal de Pernambuco; Universidade Federal de Sergipe.
11. OWEN, W. F.; STUCKEY, D. C.; HEALY JR, J. B.; YOUNG, L. Y.; MCCARTY, P. L. 1979. Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity. **Water Research**, v. 13, 485-492.
12. OWENS, J. M.; CHYNOWETH, D. P. 1993. Biochemical Methane Potential of Municipal Solid Waste (MSW) Components. **Water Science Technology**, v. 27, n. 2, 1-14.
13. RAPOSO, F.; DE LA RUBIA, M. A.; FERNÁNDEZ-CEGRÍ, V.; BORJA, R. 2011. Anaerobic digestion of solid organic substrates in batch mode: An overview relating to methane yield and experimental procedures. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 16, 861-877.
14. WANG, B.; NGES, I. A.; NISTOR, M.; LIU, J. 2014. Determination of methane yield of cellulose using different experimental setups. **Water Science & Technology**, 599-604.