

### III-236 - AVALIAÇÃO DA TRATABILIDADE DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS POR MEIO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA

**Simone Machado Santos<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Católica de Pernambuco. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Doutora em Engenharia Civil – Tecnologia Ambiental pela UFPE. Professor Adjunto 2 da UFPE.

**Alexsandro dos Santos Reis**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental na área de Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco Centro Acadêmico do Agreste (UFPE/CAA).

**Waldemir Soares da Silva Júnior**

Graduando em Licenciatura em Química pela Universidade Federal de Pernambuco Centro Acadêmico do Agreste (UFPE/CAA).

**Luís Medeiros de Lucena**

Técnico de laboratório na área de Saneamento da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Graduando em Licenciatura em Química pela Universidade Federal de Pernambuco Centro Acadêmico do Agreste (UFPE/CAA).

**Kenia Kelly Barros**

Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Mestre em Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Doutora em Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professor Adjunto 1 da UFPE.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** UFPE / Centro Acadêmico do Agreste. Rodovia BR 104 km 59, s/n, Sítio Juriti – Zona Rural, CEP: 55002-970, Caruaru, PE-BRASIL - e-mail: [smachados@hotmail.com](mailto:smachados@hotmail.com).

#### RESUMO

Atualmente, a técnica da biogaseificação tem sido bastante empregada para degradar a fração orgânica de resíduos de origem domiciliar, sobretudo nos países em desenvolvimento. Essa técnica permite não somente o tratamento do lixo orgânico, como a utilização do biogás e do efluente como fertilizante. Neste sentido, este projeto teve como escopo principal, a pesquisa para o desenvolvimento de uma tecnologia de baixo custo e fácil utilização no tratamento dos resíduos sólidos orgânicos. Na pesquisa, foi avaliado também o potencial de aproveitamento dos subprodutos da digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos, efluente e biogás. Para se atingir tal objetivo, foi instalado um biodigestor, no Laboratório de Engenharia Ambiental do Centro Acadêmico do Agreste (CAA/UFPE), o qual vem sendo monitorado em termos de tratabilidade dos resíduos e produção de biogás. No que diz respeito à tratabilidade dos resíduos orgânicos, a pesquisa indicou que há necessidade de um pós-tratamento para o efluente gerado, quer seja para uso como fertilizante, quer seja para disposição no meio ambiente. No entanto, a produção de biogás tem se elevado, à medida que o biodigestor vem alcançando o equilíbrio.

**PALAVRAS-CHAVE:** resíduos sólidos, matéria orgânica, digestão anaeróbia, biogás.

#### INTRODUÇÃO

A redução da quantidade de matéria orgânica enviada para aterros sanitários é um dos pressupostos da Política de Resíduos Sólidos do Estado de Pernambuco (Lei Nº 12.008/2001), recentemente revisada e modificada pela Lei 14.2360/ 2010. O aterramento de matéria orgânica *in natura*, em alguns países, já é uma prática proibida por lei (BERGLUNG, 2006), devido aos problemas de poluição relacionados a ela, visto que boa parte do chorume produzido em um aterro sanitário é decorrente da decomposição da matéria orgânica aterrada. Sendo a captação e tratamento do chorume gerado em aterros sanitários, um dos problemas ambientais e de saúde pública mais relevantes, associados ao gerenciamento adequado dos resíduos sólidos (ALVES, 2000).

Neste contexto, os tratamentos que visem o desvio da parcela orgânica do caminho do aterro sanitário são bastante importantes e merecem atenção especial no Gerenciamento de Resíduos Sólidos (GRS), uma vez que diminuem a carga orgânica do chorume produzido e são capazes de fornecer subprodutos reaproveitáveis,

como adubos orgânicos (caso da compostagem), efluentes com características fertilizantes (contendo nutrientes necessários ao desenvolvimento de culturas) e biogás (caso da digestão anaeróbia).

### ***A Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos***

A Digestão Anaeróbia, também conhecida como biometanização ou biogaseificação, é um processo natural que ocorre na ausência de oxigênio e envolve a decomposição bioquímica da matéria orgânica realizada por vários microrganismos, em especial, as bactérias. Esse processo resulta na produção de um gás rico em energia, o biogás e um efluente rico em nutrientes. Em ambientes naturais, a digestão anaeróbia ocorre naturalmente em arrozais, pântanos, estômago de ruminantes, entre outros.

Sob condições anaeróbias, as bactérias degradam a matéria orgânica e produzem o biogás, uma mistura de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), na proporção de 15 a 45% e metano ( $\text{CH}_4$ ), na proporção de 45 a 85%, além de outros gases, em menor proporção, como por exemplo: sulfeto de hidrogênio, amônia e nitrogênio. O metano pode ser usado como fonte de energia para o cozimento, iluminação ou mesmo para gerar eletricidade, conseqüentemente, substituindo outros combustíveis.

O fornecimento das condições ambientais adequadas ao aparecimento dos microrganismos é um dos fatores mais importantes no processo de digestão anaeróbia. Um dos principais problemas, neste processo, ocorre quando as populações de microrganismos não estão balanceadas, o que pode ser resultante de uma sobrecarga provocada pelo excesso de matéria orgânica a ser digerida, ou da mudança abrupta de temperatura ou introdução de algum composto tóxico. Estas perturbações afetam, principalmente, as bactérias metanogênicas (formadoras de metano), enquanto que as bactérias acidogênicas (formadoras de ácidos) continuam a trabalhar, produzindo mais ácidos, os quais irão inibir a atividade das metanogênicas. Este desbalanceamento em um reator pode levar a sua falha operacional, segundo Mata-Alvarez (2003).

Os Biodigestores (ou digestores) são estruturas físicas que possibilitam a ocorrência do processo de digestão anaeróbia, sob condições adequadas à formação do ambiente necessário aos microrganismos responsáveis por esse processo. Essas condições se referem tanto ao próprio projeto do sistema de tratamento, como às condições operacionais nele existentes.

Em 2007, um estudo realizado com 16 estações de tratamento por digestão anaeróbia, localizadas em cidades do sul da Índia, revelou que as mesmas utilizavam, na maioria das vezes, resíduos orgânicos domiciliares (provenientes de cozinhas ou até mesmo papel higiênico), e eram de pequeno, médio e grande porte, trabalhando com capacidades de tratamento de resíduos de 1-5 kg/dia, inferior a 3 t/dia e superior a 100 t/dia, respectivamente. O biogás gerado nas unidades de pequeno porte era normalmente utilizado nas cozinhas das residências próximas ao digestor (VÖGELI; ZURBRÜGG, 2008). Experiências como esta vêm sendo realizadas com êxito em países como Tanzânia e Uganda.

No contexto de Caruaru, o tratamento da matéria orgânica contida nos resíduos sólidos, tem grande importância, pois, além das vantagens de aproveitamento dos subprodutos originados do tratamento, há a redução da quantidade desse material que iria direto para o aterro sanitário, reduzindo sua vida útil e aumentando a carga orgânica do chorume.

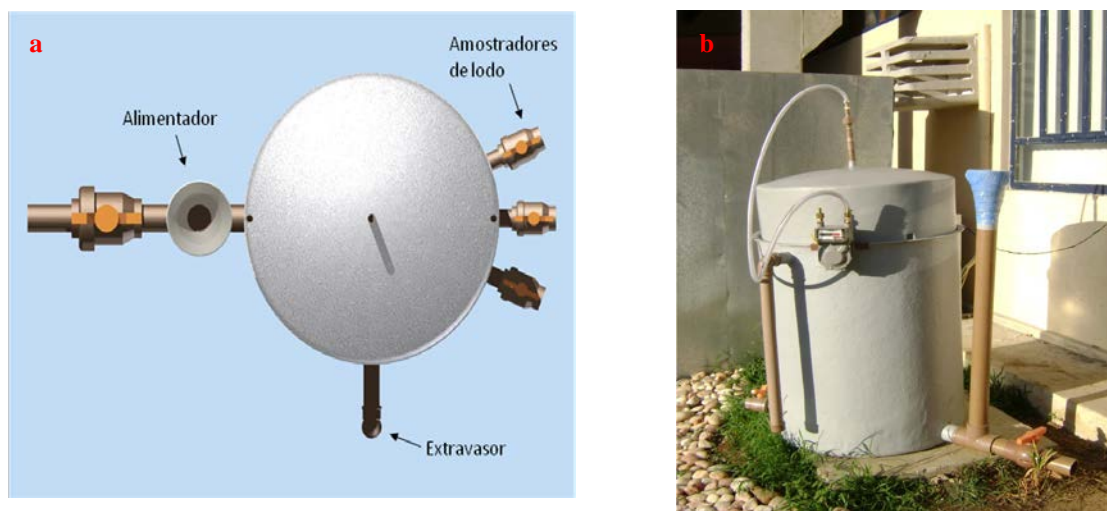
## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### ***Confecção e instalação do biodigestor***

Construído em fibra de vidro e com capacidade total de 500 L, e volume útil de 450 L, o biodigestor possui um alimentador vertical, três saídas em níveis diferentes para coleta de lodo, um extravasor e uma saída de gás (Figura 1a). Esse reator foi instalado em uma área próxima ao Laboratório de Engenharia Ambiental do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco (Figura 1b).

Para a partida do reator, que se deu no dia 13 de abril de 2010, foram utilizados 30 kg de esterco bovino seco à temperatura ambiente (aproximadamente 26°C), e 150 L de esgoto sintético preparado em laboratório, com base na metodologia proposta por Torres (1992). O esgoto sintético foi preparado utilizando-se extrato de carne, sacarose, amido, celulose, óleo de soja emulsionado com detergente, e soluções de  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$  e  $\text{CaCl}_2$ .

Após a instalação do biodigestor, deu-se início à fase de experimentação, onde o mesmo começou a ser alimentado diariamente com resíduos provenientes da cantina universitária. A alimentação foi realizada com uma mistura de resíduos sólidos orgânicos triturados e adicionados de água do sistema de abastecimento público local. Inicialmente, o afluente foi produzido com uma proporção de 200 g de resíduos sólidos orgânicos para 10 L de água e, gradativamente, foi aumentado-se a carga até o valor de 2 kg de lixo para 10 L de água, o que equivale a uma carga orgânica volumétrica média de 0,448 kg DQO/m<sup>3</sup>/dia.



**Figura 1. (a) Vista em planta do biodigestor (reator anaeróbio); (b) Biodigestor instalado no Centro Acadêmico do Agreste.**

#### *Monitoramento da digestão anaeróbia*

O desempenho da digestão anaeróbia foi avaliado por meio das análises a seguir:

- Monitoramento da produção de biogás: medição diária do volume de gás produzido e determinação de sua composição, em termos de metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>);
- Monitoramento da temperatura ambiente e interna do biodigestor;
- Análise de parâmetros físico-químicos na mistura de alimentação (afluente) do digestor (pH, Sólidos Totais - ST, Sólidos Voláteis - SV, Sólidos Fixos - SF, Demanda Química de Oxigênio - DQO, Alcalinidade Total e Parcial, Nitrogênio Total Kjeldahl - NTK e Nitrogênio Amoniacal) e efluente (pH, Potencial Redox, ST, SV, SF, DQO, Alcalinidade Total e Parcial, Ácidos Graxos Voláteis - AGV, NTK e Nitrogênio Amoniacal).

As metodologias utilizadas, nas análises físico-químicas, foram as recomendadas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1999).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### *Partida, falha e reabilitação do biodigestor*

Após cerca de 40 dias da sua partida, o biodigestor apresentou valores decrescentes de pH, indicando acidificação do meio. Por conseguinte, foi necessário proceder à suplementação do afluente com bicarbonato de sódio (NaHCO<sub>3</sub>).

Como a DQO do afluente é bastante variável, adotou-se, para o cálculo da quantidade necessária de NaHCO<sub>3</sub> para suplementação, a DQO média de 19.000 mg/L, a qual resultou em uma quantidade de 26,6 g de NaHCO<sub>3</sub> para cada litro de afluente. A suplementação teve início na primeira semana de setembro/2010. Após a suplementação com NaHCO<sub>3</sub>, o pH se elevou de 4,5 para valores acima de 7,0, e a alcalinidade parcial, que é devida a presença de íons bicarbonato elevou-se a valores superiores a 6000 mg/L, indicando que o sistema

apresentava capacidade de tamponamento. Após a suplementação com  $\text{NaHCO}_3$ , a eficiência da remoção de DQO se elevou a valores médios de 50%.

#### *Temperatura e volume de gases produzidos*

A temperatura média do biodigestor situou-se na faixa de 25 a 30°C, com picos de até 35°C, mostrando que a digestão ocorre na faixa mesofílica. A produção de gases que era em média de 0,2 m<sup>3</sup> por semana, aumentou para valores superiores a 0,67 m<sup>3</sup> por semana, indicando recuperação do sistema devido a suplementação de alcalinidade. Por conseguinte, o biodigestor já apresenta deslocamento do seu cilindro superior, o qual foi projetado para acumular os gases (Figura 2). A composição dos gases, produzidos no biodigestor, encontra-se reunida na Tabela 1. O aumento da relação  $\text{CH}_4/\text{CO}_2$  é consequência do aumento da alcalinidade parcial, após suplementação com  $\text{NaHCO}_3$ , que proporcionou condições ambientais adequadas ao desenvolvimento das bactérias metanogênicas.



Figura 2. Deslocamento do cilindro superior do biodigestor devido ao acúmulo de biogás (a), em relação à posição anterior (b).

Tabela 1. Caracterização dos gases produzidos no biodigestor.

| DATA     | METANO - $\text{CH}_4$<br>(%) | DIÓXIDO DE CARBONO -<br>$\text{CO}_2$ (%) | OBSERVAÇÕES                           |
|----------|-------------------------------|---|---------------------------------------|
| 01/06/10 | 31                            | 69  | Sem suplementação de $\text{NaHCO}_3$ |
| 22/06/10 | 30                            | 70  | Sem suplementação de $\text{NaHCO}_3$ |
| 12/07/10 | 20                            | 80  | Sem suplementação de $\text{NaHCO}_3$ |
| 13/08/10 | 8                             | 92  | Sem suplementação de $\text{NaHCO}_3$ |
| 18/01/11 | 40                            | 60  | Com suplementação de $\text{NaHCO}_3$ |
| 03/04/11 | 29                            | 71  | Com suplementação de $\text{NaHCO}_3$ |
| 04/05/11 | 52                            | 48  | Com suplementação de $\text{NaHCO}_3$ |
| 11/05/11 | 49                            | 51  | Com suplementação de $\text{NaHCO}_3$ |

#### CONCLUSÕES

Do ponto de vista técnico, o biodigestor apresentou simplicidade de instalação e utilização. O substrato de alimentação (resíduo sólido orgânico triturado + água = afluente) é de fácil obtenção, disponível em residências, cantinas e restaurantes. No entanto, observou-se que, mesmo utilizando-se efluente sintético e esterco como inóculo de partida, houve necessidade de suplementação de alcalinidade, a qual foi iniciada a partir do 143º dia, utilizando-se bicarbonato de sódio. A partir da suplementação de alcalinidade, o biodigestor apresentou

aumento na eficiência de remoção de carga orgânica e aumento na produção de gases, especificamente o metano.

Do ponto de vista ambiental, o uso de biodigestores compactos, apresenta diversos benefícios:

- redução na carga orgânica do resíduo sólido que seria encaminhado para um aterro sanitário ou lixão, contribuindo no aumento da carga orgânica do chorume;
- substituição do uso de outras fontes de energia mais poluentes como a queima de madeira para cozinhar, ou mesmo o uso do gás GLP;
- redução das emissões de metano, quando o biogás é queimado.

Do ponto de vista econômico, a maior barreira para a disseminação da tecnologia é o custo da construção do biodigestor em fibra de vidro. No entanto, estes custos devem ser mais bem avaliados, uma vez que 0,2 m<sup>3</sup> de biogás contendo 61% de CH<sub>4</sub>, resulta em uma queima de 45 minutos (RIUJI, 2009), o que permitiria a substituição do gás GLP, utilizado em cozinhas. Essa economia amortizaria os custos do investimento inicial. Com o uso do biogás, o desmatamento de vegetação para queima da madeira, com fins de produção de energia, também diminuiria, reduzindo, por conseguinte, a retirada de recursos naturais e a poluição do ar.

## AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, WOLNEY et al. Tratamento de efluentes líquidos de aterros sanitários. In: D'ALMEIDA, Maria Luiza Otero; VILHENA, André. Lixo Municipal: Manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo: Ipt/cempre, 2000. Cap. 6, p. 295-312.
2. APHA - AWWA - WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20a ed. Washington, D. C.: AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 1999.
3. BERGLUND, Maria. Biogas Production from a Systems Analytical Perspective. 2006. 79 f. Tese (Doutorado) - Lund University, Lund Sweden, 2006.
4. DÍAZ, Luís F. et al. Solid waste management for economically developing countries. 2. ed. Concorde, California: Calrecovery Inc, 2003. 120 p.
5. MATA-ALVAREZ, J. Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes. IWA Publishing. 2003. Cornwall.
6. PERNAMBUCO. Lei Nº 12.008, de 01/06/2001. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências.
7. PERNAMBUCO. Lei nº 14.236. Cria a Nova Política Estadual de Resíduos Sólidos.
8. PROMATA/JBR ENGENHARIA (Pernambuco). Projetos Básico E Executivo, Supervisão E Fiscalização Da Execução De Obras De Saneamento Básico, Elaboração De Modelo Gestão. Recife, 2006.
9. RIUJI, Lohri Christian. Research on anaerobic digestion of organic solid waste at household level in Dar Es Salaam, Tanzania. 2009. 63 f. Bachelor thesis. Institute of Natural Resource Sciences. Zurich University. 2009.
10. Torres, P. (1992). Desempenho de um Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) de Bancada no Tratamento de Substrato Sintético Simulando Esgotos Sanitários. São Carlos, SP. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
11. VÖGELI, Yvonne; ZURBRÜGG, Chris. Biogas in Cities – A New Trend?: Anaerobic Digestion of Kitchen and Market Waste in Developing Countries. Disp.em:<[http://www.eawag.ch/organisation/abteilungen/sandec/publikationen/publications\\_swm/download\\_swm/biogas\\_cities.pdf](http://www.eawag.ch/organisation/abteilungen/sandec/publikationen/publications_swm/download_swm/biogas_cities.pdf)>. Acesso em: 1 set. 2008.