



## II-227 - AVALIAÇÃO DE BIODIGESTORES ANAERÓBIOS MODELO CHINÊS OPERANDO EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DO TIPO BIOSSISTEMAS INTEGRADOS

**Magnolia Maria de Jesus**

Engenheira Ambiental pela Faculdades Integradas São Pedro, ES, Brasil. Engenheira da Construtora Norberto Odebrecht SA.

**Karolina de Freitas Vairo**

Engenheira Ambiental pelas Faculdades Integradas São Pedro, Analista de Meio Ambiente da VALE.

**Maria Alice Moreno Marques**

Química-Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)– MSc. Engenharia Ambiental - Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Professora da FAESA, pesquisadora do NPA/FAESA e consultora da Terra Consult – Vitória - ES

**Fabrícia Fafá de Oliveira<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil, pesquisadora do NPA/FAESA e consultora da Terra Consult – Vitória-ES.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** NPA/FAESA- Núcleo de Pesquisas Ambientais, Vitória, ES (e-mail: [fafaoli@terra.com.br](mailto:fafaoli@terra.com.br) e [malicemarques@terra.com.br](mailto:malicemarques@terra.com.br) )

### RESUMO

A biodigestão anaeróbia tem sido aplicada para o tratamento de efluentes domésticos, tanto em países desenvolvidos como naqueles em desenvolvimento. Contudo, a eficiência do processo de biodigestão anaeróbia é afetada por uma série de fatores que vão desde as condições ambientais, operação do sistema, natureza da matéria prima até ao desenho do biodigestor. Neste trabalho avaliou-se o desempenho de biodigestores anaeróbios modelo chinês, instalados numa ETE tipo Biossistemas Integrados, localizado no município de Venda Nova do Imigrante, ES. Tal avaliação foi feita com base em parâmetros de eficiência do próprio processo de biodigestão anaeróbia tais como a redução da concentração de sólidos, de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) e, ainda, com base na composição do biogás produzido. As concentrações médias de DQO do afluente variaram de 332 mg/L na entrada e 136mg/L na saída dos biodigestores. As eficiências médias de remoção de DQO total, DBO e Sólidos Suspensos Totais (SST) foram de 70%, 59% e 63% respectivamente. Os valores médios de pH variaram na faixa de 6,70 na entrada e 6,68 na saída do biodigestor, a uma temperatura de 26,4°C. As concentrações médias de amônia no biodigestor variaram de 27,02 mg/L na entrada e 50,79 mg/L na saída, o que confirmou a teoria de biodigestores anaeróbios em que não há remoção de nitrogênio dentro de reatores anaeróbios e sim conversão da matéria orgânica. Na avaliação da composição do biogás gerado obteve-se teor de metano variando de 69 a 77% e de dióxido de carbono de 6,9 a 11,5%. Dessa forma, pode-se afirmar que o emprego de biodigestores modelo chinês para tratamento de esgoto sanitário é uma prática viável e muito interessante dos pontos de vista econômico, uma vez que submetendo-o a estudo mais aprofundado pode ser utilizado como fonte de energia. E também do ponto de vista operacional, pois não precisa de grandes recursos para ser operado.

**PALAVRAS-CHAVE:** digestão anaeróbia, biodigestor modelo chinês, biogás.

### INTRODUÇÃO

Somente no início do século XX é que se passou a tratar as águas residuárias para o lançamento em corpos hídricos, visando à preservação dos mesmos. O desenvolvimento dos processos biológicos também se iniciou no começo do século, objetivando uma remoção mais completa do material orgânico (BRUNO, 2007).

Os sistemas anaeróbios, por um longo período de tempo, foram utilizados somente para a estabilização de resíduos, como por exemplo, a biodigestão de lodo primário em algumas estações de tratamento. Devido à preocupação com o consumo de energia e a valorização da ocupação do solo, no início dos anos 70, o tratamento anaeróbio voltou a ter um destaque considerável (BRUNO, 2007).



A eficiência do processo de biodigestão anaeróbia é afetada por uma série de fatores que vão desde as condições ambientais, operação do sistema, natureza da matéria prima, até ao desenho do digestor. A combinação harmônica destes fatores, associada ainda ao fator economicidade é que dita a eficiência do sistema.

Dentro do contexto de implementação de técnicas voltadas à minimização de impactos ambientais e à racionalização do uso de energia, merece destaque a utilização de biodigestores no tratamento de efluentes domésticos, os quais se relacionam aos aspectos de saneamento e energia, além de estimularem a reciclagem orgânica e de nutrientes. As vantagens oferecidas por este processo incluem o baixo custo de implantação e operação, a transformação da matéria orgânica sem geração de poluentes do ar, a produção de valiosos subprodutos – como o gás metano, que é fonte de energia – e de resíduo estável como fertilizante e condicionador do solo e, por fim, a não necessidade de energia para a movimentação mecânica (SOUZA e CAMPOS, 2007).

O funcionamento dos biodigestores é realizado através de um processo anaeróbico onde matéria orgânica é decomposta por bactérias metanogênicas. A matéria orgânica utilizada na alimentação dos biodigestores pode ser derivada de resíduos de produção vegetal (como restos de cultura), de produção animal (como esterco e urina) ou da atividade humana (como fezes, urina e lixo doméstico). Em condições anaeróbicas, ocorre a seleção e multiplicação de certas espécies de bactérias que utilizam metabolicamente a matéria orgânica para seu metabolismo vital. Como subproduto do metabolismo, há a produção dos diversos gases que compõem o biogás, principalmente metano. Ocorre também a produção de hidrogênio, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, dióxido de carbono e amônia. Geralmente, o metano responde por cerca de 45 a 55% do volume do biogás. Esta variação se deve ao fato de que o teor de metano varia em função do material original a ser biodigerido (AFONSO, 2006).

O biodigestor anaeróbio é uma tecnologia consagrada no Brasil, para o tratamento de efluentes da agroindústria de natureza carboidratada (KOETZ, et. al., 1995). O modelo de biodigestor chinês é amplamente utilizado no tratamento de dejetos de animais no meio rural. Desta maneira, se faz necessário um estudo sobre a aplicabilidade de tal tipo de tecnologia no tratamento de esgoto doméstico, uma vez que seu custo de implantação e operação se mostra baixo, gerando ainda, subprodutos de valor energético.

O modelo de biodigestor chinês é amplamente utilizado no tratamento de dejetos de animais no meio rural.

Desta maneira, se faz necessário um estudo sobre a aplicabilidade de tal tipo de tecnologia no tratamento de esgoto doméstico, uma vez que seu custo de implantação e operação se mostra baixo, gerando ainda, subprodutos de valor energético.

O presente trabalho visa avaliar o desempenho de dois biodigestores modelo chinês, operando em uma Estação de Tratamento de Esgotos do tipo Biossistemas Integrados, instalada na comunidade de Vila Dordenone, município de Venda Nova do Imigrante - ES. Avaliar a eficiência de biodigestores no tratamento de efluentes domésticos e caracterizar o biogás gerado durante o tratamento anaeróbio. A avaliação foi realizada com monitoramento dos biodigestores através de análises de parâmetros de avaliação de eficiência ambiental.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Análise Ambiental da FAESA – Campus II, localizada no Bairro São Pedro – Vitória. A pesquisa se dividiu em duas etapas: caracterização físico-química do efluente e caracterização físico-química do Biogás. Nesse trabalho serão apresentados os resultados dessas caracterizações.

As amostras utilizadas foram coletadas, no período de outubro/2007 a maio/2008, na estação de tratamento de esgoto Ronald Sposito, denominada ETE Caxixe, do tipo Biossistemas Integrados, situada na região de Alto Caxixe, município de Venda Nova do Imigrante. A ETE Caxixe (figura 01) é composta por um tratamento preliminar, dois biodigestores modelo chinês funcionando em paralelo, um filtro anaeróbio, zona de raízes, tanque de algas, tanque de peixes e tanque de macrófitas. Foi projetada com capacidade para 1.000 hab, e atualmente trata esgoto gerado pela população de aproximadamente 302 habitantes e possui uma vazão média de entrada de 0,58 L/s.



Os Biodigestores do modelo Chinês que compõem a ETE são enterrados e são formados por uma câmara cilíndrica em alvenaria com volume médio de 40 m<sup>3</sup>, para a fermentação, com teto abobadado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Dentro desse compartimento ocorre a degradação da matéria orgânica, por reação via anaeróbia, do esgoto bruto e, por fim, a formação do biogás. O gás produzido é captado e pode ser encaminhado por tubulação para utilização em uma creche situada na comunidade da Vila Dordenone ou queimado na própria ETE. Atualmente está sendo queimado na ETE.



**Figura 01- Esquema da ETE Caxixe com todas as etapas do tratamento**  
(Fonte: O Instituto Ambiental)

### **Amostragem**

A amostragem foi feita com amostras simples pontuais, coletadas quinzenalmente nos horários entre 09h e 11h. Os pontos de coleta de interesse da parte líquida são entrada e saída do biodigestor e o da parte gasosa é o ponto de coleta de gás é a saída do gás acumulado do biodigestor. Após coletas, as amostras líquidas devidamente acondicionadas e transportadas para o laboratório da FAESA para análises conforme metodologias Standart Methods 20ª Ed. As coletas do biogás foram realizadas em amostrador apropriado tipo saco plástico. A amostra foi vedada e encaminhada para análise no laboratório da coqueria da indústria Arcelor Mittal Tubarão.

### *Efluentes Líquidos*

Os parâmetros analisados foram: pH, temperatura, Turbidez, Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Óleos e Graxas, Sólidos Totais, Sólidos Suspensos, Sólidos Dissolvidos, Sólidos Voláteis, Sólidos Sedimentáveis, Nitrogênio Amoniacal, Fósforo Total, Ortofosfato e Coliformes Termotolerantes.

### *Biogás*

O monitoramento do biogás foi realizado nos dias 19/05/2008, 28/05/2008 e 12/06/2008, através de coleta de amostra feitas com auxílio de um amostrador tipo saco plástico apropriado, na tubulação de saída do gás gerado no biodigestor e encaminhado para o laboratório da Coqueria da ArcelorMittal Tubarão para análise em cromatógrafo de fase gasosa. Os parâmetros analisados foram: Hidrogênio, Oxigênio, Nitrogênio, Dióxido de Carbono, Monóxido de Carbono, Sulfetos e Metano.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Fase Líquida

Os resultados, das amostras coletadas, eram normalmente obtidos através de leituras realizadas in loco para os parâmetros pH, temperatura, turbidez e Oxigênio dissolvido, e por meio de análises físico-químicas em laboratório para os outros parâmetros analisados.

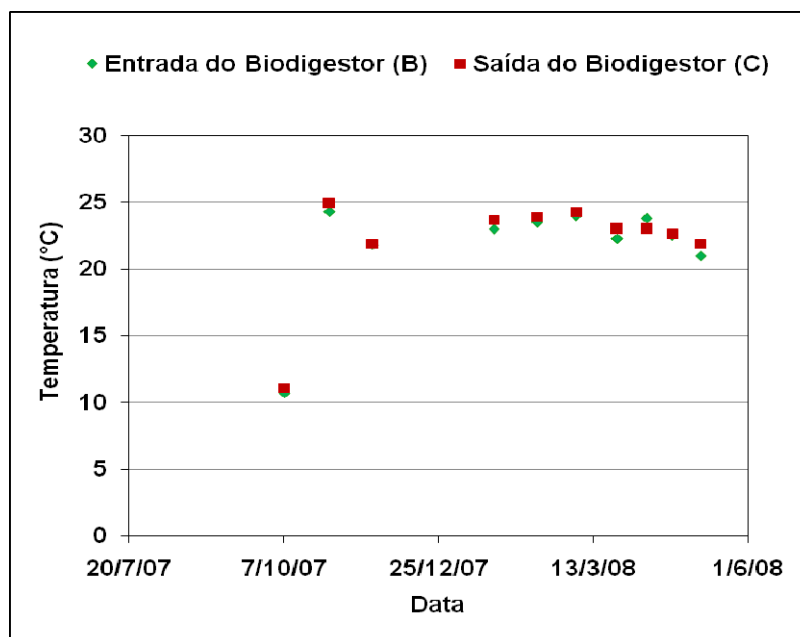
**Tabela 1: Resultados médios das análises físico-química e bacteriológica dos pontos de entrada (B) e saída (C) dos biodigestores**

PARÂMETROS	Ponto B	Desvio Padrão	Ponto C	Desvio Padrão	Eficiência (%)
Temperatura (°C)	22,1	3,5	22,4	3,5	-
pH	6,7	0,5	6,7	0,3	-
Turbidez (UT)	338,0	211,0	100,0	21,0	70
Sólidos Totais (mg/L)	914,5	395,4	551,3	130,3	40
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	446,5	411,2	164,9	84	63
Sólidos Dissolvido (mg/L)	500,8	221,2	386,4	88,3	23
Sólidos Voláteis (mg/L)	581,0	241,3	249,0	66,1	57
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	6,9	5,7	1,3	0,8	81
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	2,25	0,6	0,78	0,2	65
DBO (mg/L)	332,6	77,0	163,0	44,0	59
DQO (mg/L)	1085,1	587,0	321,8	66,0	70
Óleos e Graxas (mg/L)	52,9	19,1	18,6	17,2	65
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	27,0	6,4	50,8	7,8	-
Fósforo (mg/L)	5,84	1,7	6,57	1,3	-
Ortofosfato (mg/L)	3,63	1,4	4,43	0,7	-
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	6,28E+06	6,83E+06	6,66E+06	6,06E+06	-

Os valores médios de temperatura da amostra foram de 22,1°C (+3,5) na entrada e 22,4°C (+3,5) na saída. Esses níveis encontrados para temperaturas (figura 02) caracterizam a digestão dos biodigestores como digestão mesófila, uma vez que manteve faixa de temperatura entre 20 e 45°C. A temperatura desempenha papel importante na cinética das reações bioquímicas e manutenção da vida microbiana.

As bactérias produtoras de metano têm crescimento ótimo na faixa de pH entre 6,6 a 7,4 (Chernicharo, 2007). O biodigestor opera dentro desta média 6,70 (+0,50) na entrada e 6,68 (+0,30) na saída e atende a um dos itens necessários para a produção do metano.

A turbidez durante o período de monitoramento apresentou valores elevados na entrada do biodigestor que podem ter sido ocasionados pelos problemas operacionais do tratamento preliminar da ETE Caxixe uma vez que este se encontra em má condição de operação. Contudo os valores médios variaram de 338,0 UT (+21,0) na entrada e 100 UT (+211,0) na saída. O menor desvio padrão nas análises de saída do biodigestor mostra que o sistema foi suficiente para redução deste parâmetro.

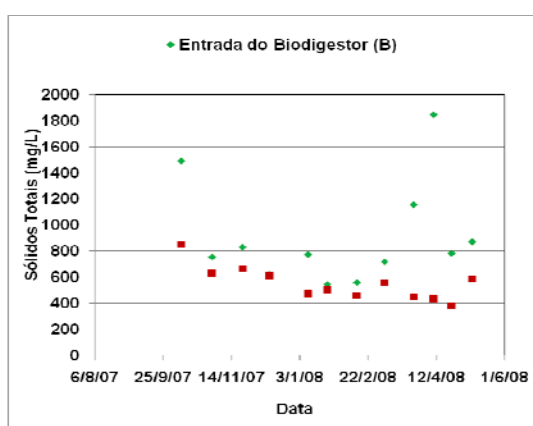


**Figura 02- Concentrações de temperaturas da água na entrada e saída do biodigestor**

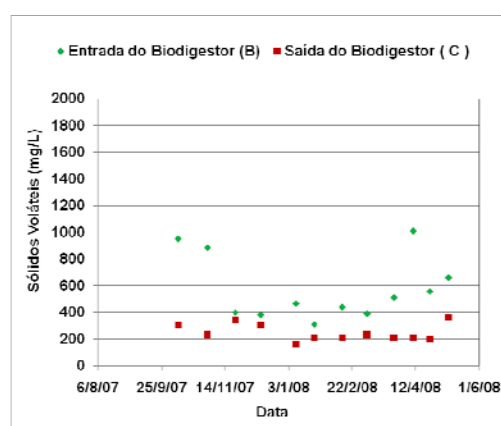
A grande variabilidade nas concentrações de sólidos totais na entrada do biodigestor (figura 3), pode ser explicado pela configuração e operação do pré-tratamento uma vez que apresenta um gradeamento com uma má condição de operação, necessitando de manutenção para retenção de resíduos. Apesar disso, a eficiência de remoção foi alcançada para a série de sólidos, mas quando se compara a um sistema mais moderno, tipo reator UASB, conclui que uma boa operação dos biodigestores deverá apresentar melhor eficiência.

Uma correlação pode ser feita entre a redução de sólidos voláteis (figura 04) e a produção de gás metano, os sólidos apresentam boa eficiência de remoção e conseqüentemente o biodigestor apresenta boa produção de gás metano (74%). Uma vez que esses sólidos correspondem à matéria orgânica que em um biodigestor, pode ser digerida, convertendo-se em gás metano.

A relação entre sólidos voláteis e sólidos totais (SV/ST) apresenta 64% de biodegradabilidade, ou seja, maior parte do material no biodigestor é orgânico, confirmando a entrada de maior concentração de esgoto doméstico.



**Figura 03- Concentrações de Sólidos Totais na entrada e saída do biodigestor.**



**Figura 04- Concentrações de Sólidos Voláteis na entrada e saída do biodigestor.**



Com relação ao perfil da DQO (figura 05) ao longo do biodigestor a média de entrada foi de 1085 mg/L (+587,0) e de saída 322 mg/L (+66,0), alcançando eficiência de 70% (tabela 2). Chernicharo 2007, em estudos realizados com reatores UASB encontrou variação média de DQO em efluentes domésticos pós-tratados em reatores anaeróbios entre 180 a 270mg/L, e Pecora 2006, em sua avaliação de biodigestor UASB encontrou concentrações de DQO na entrada de 1020mg/L e na saída 148mg/L.

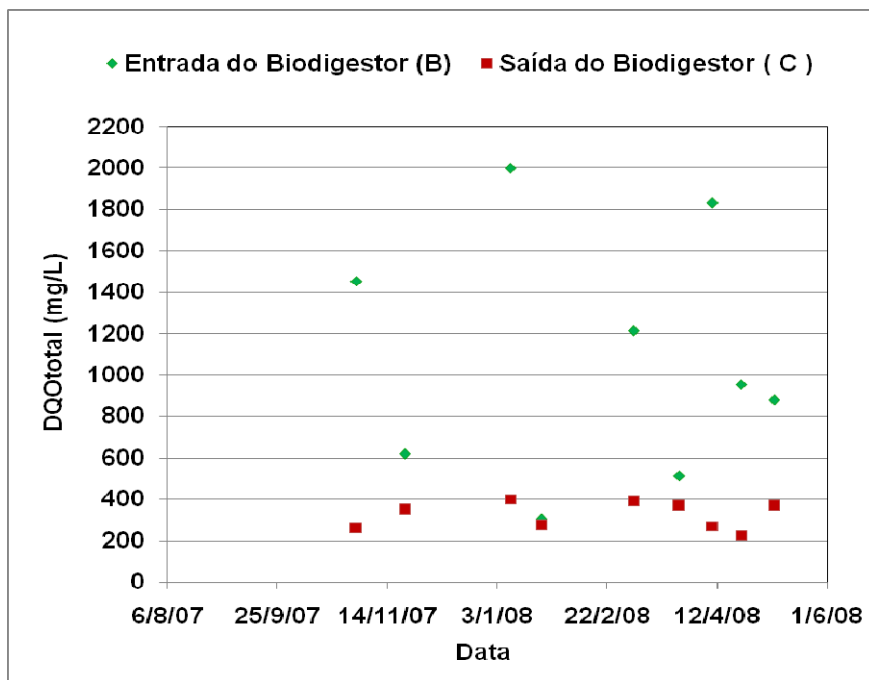


Figura 05 - Concentrações de DQO<sub>Total</sub> na entrada e saída do biodigestor.

Os teores médios de DBO (figura 06) ficaram entre 333,0 mg/L na entrada (+77,3) e 136,0 mg/L na saída (+43,6), alcançando eficiência de remoção em torno de 59,0% (tabela 2). Chernicharo (2007), em estudos realizados em reatores UASB encontrou variação média de DBO para efluentes domésticos pós tratados em reatores anaeróbios entre 70 a 100 mg/L, e Pecora (2006) operando reator anaeróbio do tipo UASB encontrou concentrações de DBO de 329 mg/L na entrada e 59 mg/L na saída.

Os valores médios de Óleos e Graxas variaram de 52,9 mg/L na entrada (+19,2) e 18,6 mg/L na saída (+17,3). Observa-se que a concentração de óleos e graxas é alta no sistema. O problema da entrada de gordura em um sistema de tratamento de esgoto advém das características desse material, que tende a se acumular na superfície das unidades de tratamento. Estes níveis de óleos e graxas na entrada do sistema podem comprometer o funcionamento do biodigestor, pois em tratamento biológico anaeróbio, a concentração elevada de óleos e graxas impedem a fase metanogênica e liberam altas concentrações de ácidos voláteis, atrapalhando as etapas subsequentes. Contudo a eficiência de remoção no sistema foi de 65% (tabela 2).



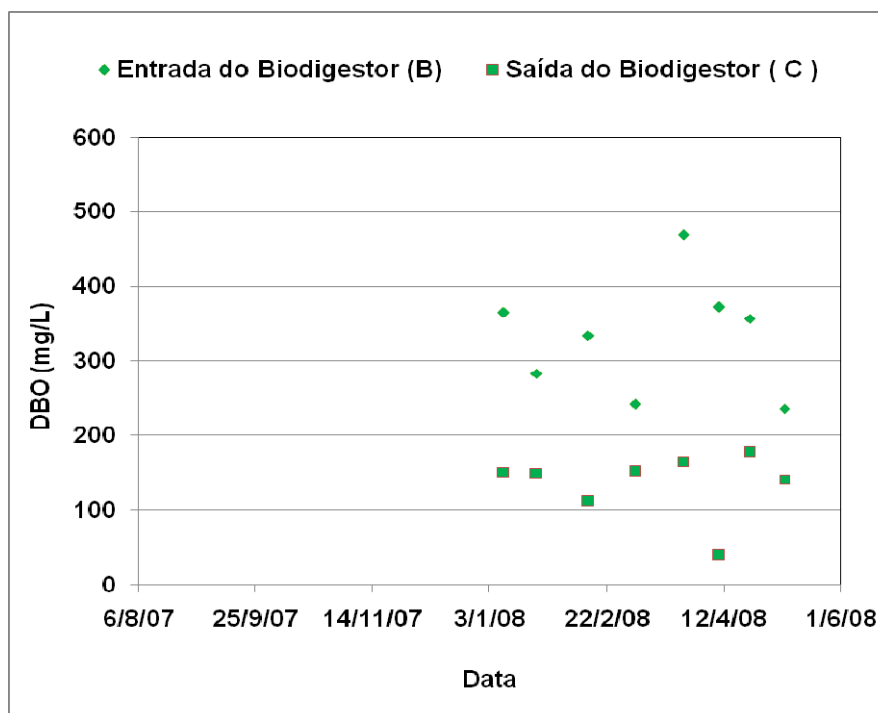


Figura 06 Concentrações de DBO na entrada e saída do biodigestor.

#### Biogás

A tabela 3 apresenta os resultados de caracterização do biogás das três coletas realizadas no monitoramento dos biodigestores, onde será analisado cada parâmetro separadamente.

Tabela 3 Resultados da composição química do Biogás gerado na ETE Caxixe das três coletas.

Compostos Químicos	Composição Química do Biogás (%)			
	19/05/2008	28/05/2008	12/06/2008	MÉDIA
CO <sub>2</sub> (Dioxido de Carbono)	8,32	11,47	6,899	<b>8,896</b>
H <sub>2</sub> S (Sulfeto Hidrog.)	0	0,069	0	<b>0,023</b>
H <sub>2</sub> (Hidrogênio)	0	0	0	<b>0</b>
O <sub>2</sub> (Oxigênio)	3,63	1,9	5,462	<b>3,664</b>
N <sub>2</sub> (Nitrogênio)	12,18	9,266	18,199	<b>13,215</b>
CH <sub>4</sub> (Metano)	75,87	77,295	69,43	<b>74,198</b>
CO (Monóxido de Carbono)	0	0	0	<b>0</b>

As concentrações de metano variaram de 69,430% a 77,295%, demonstrando estabilidade nos biodigestores com relação à qualidade e quantidade do biogás produzido. Já a concentração média de gás sulfídrico foi de 0,023%.

#### CONCLUSÃO

Com base no trabalho realizado, é possível concluir que os biodigestores anaeróbios modelo chinês foram capazes de manter uma eficiência de remoção de matéria orgânica aproximada a de um reator UASB convencional. Entretanto a qualidade de seu efluente não atende aos padrões de lançamento, ou seja, o efluente final após biodigestores necessita de um polimento.



Os resultados obtidos nas análises de sólidos permitem recomendar manutenção no tratamento preliminar, para remoção de resíduos grosseiros, uma vez que lançamento destes dentro dos biodigestores é prejudicial ao funcionamento do mesmo.

## AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pelo Programa Petrobrás Ambiental. Os autores agradecem a Prefeitura Municipal de Venda Nova do Imigrante - ES, pelo apoio, e a FAESA, CEFETES e OIA pela parceria.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA, WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION - WPCF, 1998, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20a ed., Washington, D. C., EUA, American Public Health Association.
2. CHERNICHARO, C.A.L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - reatores anaeróbios. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. 380 p. Belo Horizonte, 2007.
3. CONAMA. Resolução no 357 de 17 de março de 2005. Publicada no DOU (Diário Oficial da União) em 18 de março de 2005. p. 58-63.
4. COMDEMA. Resolução no 2 de 5 de junho de 1991. Vitória, Espírito Santo.
5. DEGANUTTI, R.; PALHACI, M.C.J.P; ROSSI, M.; TAVARES, R. Biodigestores Rurais: Modelos Indiano, Chinês e Batelada. Trabalho apresentado no AGRENER 2002. Departamento de Artes e Representação Gráfica, FAAC - Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, UNESP - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Bauru, São Paulo, 2002.
6. GASPAR, R.M.B.L.. Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento Planejamento e Estratégia Organizacional, Santa Catarina, 2003.
7. CETESB. Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água. São Paulo, 1987.
8. OLIVEIRA, L.C.. Digestão anaeróbia: Uma visão sustentável no tratamento dos subprodutos de origem animal. (Dissertação de Mestrado). Universidade dos Açores, Departamento de Ciências Agrárias, Portugal, 2005.
9. PECORA, V., Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de Caso (Dissertação de Mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
10. VON SPERLING, M., Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. 3ª edição. 452 p. Belo Horizonte, 2005.