

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS PROVENIENTE DO TRATAMENTO DE ESGOTO.

Profa. Dra. Suani Teixeira Coelho¹

suani@iee.usp.br

Msc. Sílvia Maria Stortini González Velázquez¹

sgvelaz@iee.usp.br

Orlando Cristiano da Silva¹

gbntumbo@iee.usp.br

Vanessa Pecora¹

vpecora@iee.usp.br

Eng. Fernando Castro de Abreu¹

fcabreu@iee.usp.br

¹USP/IEE /CENBIO - Universidade de São Paulo; Instituto de Eletrotécnica e Energia; Centro Nacional de Referência em Biomassa. Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 CEP 05508-010 – São Paulo – SP – Brasil. Fone: +55 11 3483 6983 Fax: +55 11 3091 2649

Resumo

O Centro Tecnológico de Hidráulica (CTH) da Universidade de São Paulo (USP) trata o esgoto gerado pelo Conjunto Residencial da USP (CRUSP) e pelo principal restaurante do Campus, por meio do processo de digestão anaeróbia, cujos principais produtos são biogás (composto basicamente de metano) e lodo, além do efluente com carga reduzida de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

Por meio do Projeto denominado Programa de Uso Racional de Energia e Fontes Alternativas (PUREFA), que é um projeto da USP, financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), em parceria com o Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO) e a Escola Politécnica da USP, por meio do CTH, em um edital voltado à infra-estrutura (CT-INFRA), o biogás produzido é tratado e alimenta um motor para gerar energia elétrica.

O PUREFA teve três objetivos principais: implantar medidas de gestão e ação de eficiência energética permitindo reduzir o consumo de energia elétrica na Universidade; ampliar a geração distribuída na USP a partir de recursos renováveis e não convencionais de energia e implantar políticas de incentivo ao uso eficiente e racional de energia. Entre as 14 metas integrantes deste projeto, o CENBIO comprometeu-se em realizar duas metas. As atividades incluíam a implementação de um sistema de captação, purificação e armazenamento do biogás gerado por um biodigestor, modelo Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA), localizado no CTH, no Campus da capital da USP além da geração de energia elétrica utilizando o biogás armazenado como combustível em um motor ciclo Otto.

Palavras-chave: biomassa, biodigestor, biogás, geração de eletricidade.

Abstract

The main objective of the effluent treatment is to correct its undesirable characteristics, however, during this process, residues like sludge and biogas are generated, and those residues can be used as raw materials.

The PUREFA (Program of Rational Energy Use and Alternative Sources), compound by 14 purposes, is about a project of the USP – University of Sao Paulo, financial backer FINEP – Financier of Studies and Projects. This project had three main objectives: to implant measures of management and action of energy efficiency, to increase the distributed generation in the USP from the renewable resource and not conventional energy and to introduce incentive permanent politics to the efficient and rational use of energy.

In the context, the Brazilian Reference Center on Biomass was responsible for two purposes, related to the biogas use for electricity generation. The first purpose had main objective to implant the generation system, to capture and to stock the biogas, produced by biodigestor in the Technological Hydraulically Center (CTH – USP). The biodigestor is a UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), whose outflow of the biogas produce is near 4 m³/day, opera rates 24 hours per day and utilize the sewer from the residential buildings located in Sao Paulo University, inside the campus.

For the biogas utilization, was made its outflow, chemical composition and heat value identifications, parameters that allowed to determinate the real potential for generation and to shown the necessity of the previous treatment, as H₂S removal. Finished this stage, was started the next purpose, regarding biogas used as fuel for electricity generation using a generator group Otto cycle. Nowadays this project is a demonstrative project. In this article the technical and environmental project results obtained will be presented.

Keywords: biomass, biodigestor, purification system, electric energy generation.

1. Introdução

O aproveitamento do biogás, produto do tratamento de esgoto, para geração de energia elétrica ocasiona uma redução no potencial de poluição do meio ambiente, uma vez que é composto por acentuada concentração de gás metano (CH₄), cerca de 24 vezes superior ao dióxido de carbono (CO₂), no que se refere ao efeito estufa.

Para que o biogás possa ser utilizado como combustível, seja em motores, turbinas a gás ou microturbinas, é necessário identificar sua vazão, composição química e poder calorífico, parâmetros que determinam o real potencial de geração de energia elétrica, além de permitir dimensionar os processos de pré-tratamento do biogás, como a remoção de H₂S (ácido sulfídrico) e da umidade, com o propósito de evitar danos aos equipamentos da instalação e aumentar seu poder calorífico. O biodigestor utilizado no projeto em questão opera 24 horas por dia e sua produção estimada de biogás corresponde a 5,3 m³ por dia, considerando-se uma vazão média de esgoto de 3 m³ por hora. Este equipamento era empregado somente para pesquisas referentes ao pré e pós-tratamento do efluente (esgoto). O biogás gerado era emitido para a atmosfera sem ser tratado, atualmente este é armazenado, para posteriormente, ser queimado num motor ciclo Otto, com a finalidade de demonstrar a possibilidade de geração de energia elétrica a partir do mesmo.

Neste contexto, este artigo apresenta o estudo de caso referente a duas metas do projeto PUREFA, contendo a discussão dos resultados provenientes das análises da composição química do esgoto, do biogás e dos gases de exaustão, além da descrição dos sistemas de tratamento e de armazenamento do biogás, assim como o sistema proposto para converter o biogás em energia elétrica, utilizando um conjunto motor-gerador ciclo Otto. O aproveitamento energético do biogás objetiva a melhoria do desempenho global do tratamento do esgoto, reduzindo a emissão de gases efeito estufa, colaborando para aumentar a eficiência energética da estação de tratamento e, conseqüentemente, a viabilidade do saneamento básico no País.

2. Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente

O Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA) é um biodigestor que, segundo Souza (1982), consiste basicamente de um tanque no fundo do qual se localiza o sistema biodigestor

propriamente dito e, na parte superior, existe um sedimentador precedido de um sistema para a separação do gás. O resíduo líquido a ser tratado é distribuído, uniformemente, no fundo do reator e passa através de uma camada biológica de lodo, que transforma o material orgânico em biogás.

É uma opção bastante interessante que vem sendo mais e mais empregada. Estes reatores se baseiam no princípio de separação das fases sólida, líquida e gasosa, fazendo com que o lodo se acumule e se mantenha no tanque de tratamento, com tempos de residência celular bastante superiores aos tempos de residência hidráulica.

Os reatores RAFA são sistemas compactos e de alta taxa digestão, indicados para a recuperação eficiente do gás metano. Este é o modelo utilizado no estudo de caso apresentado neste trabalho (Figura 1).



Figura 1 – Biodigestor Modelo RAFA.
(COELHO et al, 2003 a.).

3. Biogás

Biogás é uma mistura resultante da fermentação anaeróbia de material orgânico encontrado em resíduos animais e vegetais, lodo de esgoto, lixo ou efluentes industriais, como vinhaça, restos de matadouros, curtumes e fábricas de alimentos (GIACAGLIA; SILVA DIAS, 1993). A composição típica do biogás é cerca de 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, amins voláteis e oxigênio (WEREKO-BROBBY; HAGEN, 2000). Dependendo da eficiência do processo, influenciado por fatores como carga orgânica, pressão e temperatura durante a fermentação, o biogás pode conter entre 40% e 80% de metano.

4. Tecnologias de conversão

Existem diversas tecnologias para efetuar a conversão energética do biogás. Entende-se por conversão energética o processo que transforma um tipo de energia em outro. No caso do biogás a energia química contida em suas moléculas é convertida em energia mecânica por um processo de combustão controlada. Essa energia mecânica ativa um gerador que a converte em energia elétrica.

Há de se mencionar, também, o uso da queima direta do biogás em caldeiras para cogeração e do surgimento de tecnologias remanescentes, porém não comerciais atualmente, como a da célula combustível. As turbinas a gás e os motores de combustão interna do tipo “Ciclo – Otto” ainda são as tecnologias mais utilizadas para esse tipo de conversão energética.

5. Estudo de Caso – PUREFA

As duas metas do projeto PUREFA, que são apresentadas neste artigo, tiveram como objetivo implantar um sistema demonstrativo, dentro da USP, nas instalações do CTH, capaz de captar, purificar, armazenar o biogás e utilizá-lo, como combustível, na geração de energia elétrica.

Para tal, foi utilizado um biodigestor modelo RAFA (Figura 1), com 6 metros de altura e volume útil de 25 m³, já existente no CTH, em pleno funcionamento e que é alimentado com efluente líquido gerado no CRUSP. Antes de ser tratado no biodigestor, o efluente passa por um sistema de pré-tratamento, composto por: caixa de areia, calha *Parshall*, tanque de acumulação e bomba, que provoca seu deslocamento até o biodigestor (Figura 2).



Figura 2 – Sistema de Pré-Tratamento do Efluente.
(COELHO et al, 2003 a).

Para identificar os equipamentos a serem usados no desenvolvimento das metas do projeto, primeiramente foram feitas análises do biogás gerado por duas empresas. A COMGÁS foi a primeira e os resultados obtidos não estavam dentro do padrão esperado. Por conseguinte a White Martins, empresa que já havia prestado seus serviços para o CENBIO com sucesso, foi solicitada e os resultados desta análise estão descritos na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Análise do Biogás Antes do Sistema de Purificação.

Compostos Químicos	%Vol ou ppm
O ₂ (Oxigênio)	1,23%
N ₂ (Nitrogênio)	15,5%
CO ₂ (Dióxido de Carbono)	4,75%
CH ₄ (Metano)	75,8%
H ₂ S (Sulfeto de Hidrog.)	649 ppm
H ₂ O (água)	2,62%

Fonte: YAMASHITA, 2004 – Certificado de Análise.

Com os resultados obtidos, foi desenvolvido um sistema de purificação do biogás, para que este possa ser usado posteriormente em um sistema de conversão do biogás em energia elétrica. O sistema de purificação é composto por dois compartimentos e está instalado na linha de captação do gás. Antes de o biogás ser alimentado neste sistema, passa por um recipiente onde fica retida a água condensada durante sua passagem pela tubulação. O primeiro compartimento é composto por dois tipos de peneira molecular, sendo que uma delas visa à retirada da umidade e a outra à retirada do ácido sulfídrico (H₂S), e sílica gel azul, utilizada como indicador, pois quando saturada, possui coloração diferente. O segundo contém cavaco de ferro, visando assegurar a retirada de H₂S, que possivelmente não tenha reagido com o primeiro elemento (Figuras 3 a 5).



Figuras 3 a 5 – Sistema de Purificação do Biogás. (COELHO et al, 2004 b).

O resultado da análise do biogás após passar pelo sistema de purificação é descrito na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Análise do Biogás Após o Sistema de Purificação.

Compostos Químicos	%Vol ou ppm
O ₂ (Oxigênio)	0,89%
N ₂ (Nitrogênio)	13,2%
CO ₂ (Dióxido de Carbono)	4,07%
CH ₄ (Metano)	80,8%
H ₂ S (Sulfeto de Hidrog.)	< 1,0 ppm
H ₂ O (água)	0,98%

Fonte: YAMASHITA, 2004 – Certificado de Análise.

A eficiência do sistema de purificação proposto se comprova pelo decréscimo significativo das concentrações do sulfeto de hidrogênio e água.

O horímetro (Figura 6), equipamento que contabiliza o número de horas que a bomba operou, encontra-se instalado na bomba de alimentação do biodigestor. A partir da análise da DBO do esgoto na entrada e na saída do biodigestor (Tabelas 3 e 4) e dos dados do horímetro é possível fazer o cálculo teórico do volume de biogás gerado, resultando em 4 m³/dia.



Figura 6 – Horímetro (COELHO et al, 2005).

Tabela 3 - Resultado da Análise do Efluente Antes de seu Tratamento no Biodigestor.

Parâmetros	Expresso Como	Resultado
Alcalinidade Total (mg/L)	CaCO ₃	156
DBO (mg/L)	O ₂	329
DQO (mg/L)	O ₂	1,02 X 10 ³
Gás Carbônico (mg/L)	CO ₂	> 100
pH a 25 °C (-)	-	6,15
Sólidos Totais (mg/L)	-	1,13 X 10 ³
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	-	460
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	-	668
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	-	661
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	-	400
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	-	261
Sulfeto (mg/L)	S	3,0

Fonte: ANGELO, 2004.

Tabela 4 – Resultado da Análise do Efluente Após seu Tratamento no Biodigestor.

Parâmetros	Expresso Como	Resultado
Alcalinidade Total (mg/L)	CaCO ₃	264
DBO (mg/L)	O ₂	59
DQO (mg/L)	O ₂	148
Gás Carbônico (mg/L)	CO ₂	65
pH a 25 °C (-)	-	6,84
Sólidos Totais (mg/L)	-	454
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	-	336
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	-	118
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	-	254
Sólidos Dissolvidos Fixos (mg/L)	-	239
Sólidos Dissolvidos Voláteis (mg/L)	-	15
Sulfeto (mg/L)	S	7,0

Fonte: ANGELO, 2004.

Com o valor da produção do biogás pôde-se dimensionar e adquirir o gasômetro e o grupo motor-gerador ciclo Otto.

O gasômetro tem a finalidade de armazenar biogás suficiente para que o motor funcione cerca de duas horas, possibilitando um monitoramento das características do motor. O gasômetro descarta a idéia inicial de instalar um compressor, que exigiria uma outra série de equipamentos sofisticados, tais como secadores. É feito de PVC e possui duas camadas. A interna é preta e resistente o suficiente para conter o biogás. A externa é azul e protege a camada interior do meio ambiente.

O gasômetro tem um volume útil de 10 m³, cujas dimensões são:

- Diâmetro do corpo: 2000 mm;
- Comprimento: 3200 mm.



Figura 7 – Gasômetro (COELHO et al, 2005)

Um conjunto sensor-totalizador foi adquirido para que se possa monitorar a produção do biogás com maior facilidade.

A empresa Comercial Diesel Parts ofereceu o grupo motor-gerador de baixa potência (18 kW), que melhor atendia às necessidades do projeto, acompanhado de um quadro de comando e de um quadro de teste. Após realização de teste no grupo motor-gerador utilizando Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) como combustível e verificando o perfeito estado de funcionamento do equipamento, o mesmo foi adquirido. Apesar de possuir potência superior às das outras opções encontradas, foi a única possibilidade que se apresentou viável (Figura 8).



Figura 8 – Grupo Motor-gerador (COELHO et al, 2005).

De posse de todos os equipamentos, um abrigo foi projetado e construído (Figuras 9 e 10). A construção em alvenaria foi executada pela Famosa Engenharia e Construções, que apresentou a proposta melhor elaborada, incluindo um “radier” na execução da obra, permitindo maior estabilidade do solo para suportar as cargas dos equipamentos.



Figuras 9 e 10 – Construção em Alvenaria para Abrigo dos Equipamentos (COELHO et al, 2005).

Terminada a construção, a tubulação da saída do sistema de purificação do biogás foi prolongada até o abrigo. Em seguida foram instalados o sensor-totalizador, um manômetro e uma válvula direcional, para depois ser instalado o gasômetro (Figuras 11 a 14).



Figuras 11 e 12 – Snsor-totalizador de Vazão Instalado no Abrigo (COELHO et al, 2005).



Figura 13– Manômetro em U (COELHO et al, 2005).



Figuras 14 – Gasômetro (COELHO et al, 2005).

Com estes equipamentos devidamente alocados, foram instalados os demais equipamentos: grupo gerador (Figura 15), painel de teste (Figura 16), painel de comando (Figura 17) e dado o “start up” do sistema, permitindo a realização dos testes de desempenho dos equipamentos, tempo de operação, energia gerada e análise dos gases de exaustão do grupo gerador.



Figura 15 – Grupo Gerador (COELHO et al, 2005).



Figura 16 – Painel de Teste do Grupo Gerador (COELHO et al, 2005).



Figura 17 – Painel de Comando do Grupo Gerador (COELHO et al, 2005).

Os resultados das análises dos gases de exaustão estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 – Análises dos Gases de Exaustão.

Componente	Análises			
	10:38 h	11:00 h	11:10 h	11:20 h
Hidrocarbonetos Totais como CH ₄	3,1%	0,67%	2,7%	0,19%
Monóxido de Carbono (CO)	641 ppm	929 ppm	787 ppm	922 ppm
Dióxido de Carbono (CO ₂)	8,8%	*	8,4%	*
Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	5 ppm	15 ppm	48 ppm	65 ppm
Oxigênio (O ₂)	3,7%	5,4%	5,7%	*
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	< 1 ppm	< 1 ppm	< 1 ppm	<1 ppm

Fonte: YAMASHITA, 2005 – Certificado de Análise.

Segundo o Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT)¹, as emissões estão diretamente relacionadas à carga. Durante a análise, o grupo gerador em questão estava submetido a uma carga de 2,4 kW (aproximadamente 15% de sua carga máxima) e, por ser uma carga relativamente baixa, acarretou maior emissão de hidrocarbonetos totais. Como o ajuste da admissão do ar ainda não está em seu ponto ótimo, a queima fica ainda mais incompleta e como consequência mais hidrocarbonetos são emitidos. Pode-se observar uma melhora no decorrer do tempo devido a ajustes feitos durante as análises.

6. Conclusões

No decorrer do projeto surgiram inúmeras dificuldades, como falta de equipamentos adequados à vazão de biogás, que é inconstante, e à sua pressão, que é muito baixa e sensível. A variação da produção de biogás se deve principalmente ao fato da alimentação do biodigestor ser inconstante que, por sua vez, é consequência da utilização do CRUSP, que é menos utilizado no período de férias e finais de semana. Soma-se a isso o fato da bomba de sucção do esgoto, localizada entre o CRUSP e o CTH, e da bomba de recalque do esgoto, localizada antes da entrada

¹ Engenheiro Silvio Figueiredo do agrupamento térmico do IPT, informação verbal. São Paulo, 11 de agosto de 2005.

do efluente no biodigestor, não funcionarem cem por cento do tempo, pois há paradas para manutenção corretiva destas máquinas.

Por essas razões, alternativas tiveram que ser desenvolvidas, tais como: sistema de purificação do biogás, selo hidráulico e medidor de pressão do sistema, pois os equipamentos eficazes existentes no mercado, ora necessitavam de altas pressões, ora eram caros por serem equipamentos muito específicos.

Superadas as dificuldades e completa a instalação, o sistema encontra-se em funcionamento, com o objetivo de demonstrar a possibilidade de geração de energia elétrica a partir do biogás de esgoto, incentivando a nacionalização de equipamentos para esse fim e incentivando a geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis de forma descentralizada. Porém, como anteriormente descrito, ainda são necessários alguns ajustes finais no grupo gerador para que atinja queima mais completa possível e, conseqüentemente, emita menor quantidade de poluentes. Para que esses ajustes sejam feitos e ocorra um maior aprofundamento no estudo deste sistema de geração de eletricidade, uma nova proposta foi elaborada e encaminhada para possíveis financiadores.

7. Referências

ANGELO, G. S. Jr. Relatório de Ensaio - “**Certificado de Análise do Efluente**”. São Paulo. AMBIENTAL LABORATÓRIO E EQUIPAMENTOS LTDA., 2003.

CLASSEN, P.A.M.; LIER, J.B.; STAMRS, A.J.M. “**Utilization of biomass for supply of energy carrier**”. Applied microbiology and biotechnology, v.52, p.741-755, 1999.

COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; SILVA, O. C.; VARKULYA, A. Jr.; PECORA, V.. Relatório de Acompanhamento - “**Biodigestor Modelo UASB**”. São Paulo. CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa, 2003.

COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; SILVA, O. C.; PECORA, V.; ABREU, F. C. de. Relatório de Acompanhamento - “**Relatório de Atividades do Projeto Programa de Uso Racional de Energia e Fontes Alternativas (PUREFA)**”. São Paulo. CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa, 2004.

COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; SILVA, O. C.; PECORA, V.; ABREU, F. C. de. Relatório de Acompanhamento - “**Relatório Final de Atividades do Projeto Programa de Uso Racional de Energia e Fontes Alternativas (PUREFA)**”. São Paulo. CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa, 2005.

NETTO, J. C. “**Gás Natural Liberalização do Sector na União Europeia e em Portugal**”. Rio de Janeiro. ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, 2004.

NOGUEIRA, L.A.H. “**Biodigestão, a alternativa energética**”, Editora Nobel, p.1-93. São Paulo, 1986.

SOUZA, M. E., “**Fatores que Influenciam a Digestão Anaeróbia**”, Trabalho apresentado no V Simpósio Nacional de Fermentação, Viçosa, 1982.

YAMASHITA, T. Relatório de Ensaio - “**Certificado de Análise da Composição do Biogás – PUREFA**”. São Paulo. WHITE MARTINS, 2004.

YAMASHITA, T. Relatório de Ensaio - “**Certificado de Análise dos Gases de Exaustão – PUREFA**”. São Paulo. WHITE MARTINS, 2005.