

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## POTENCIAL DE OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS GERADO POR UMA DIGESTÃO ANAERÓBIA EM ETES

Barbara Elisabeth Waelkens <sup>1\*</sup>  
Werner Sternad <sup>1</sup>

OPTIMIZATION POTENTIAL OF BIOGAS PRODUCTION IN  
ANAEROBIC DIGESTERS ON MUNICIPAL WASTEWATER  
TREATMENT PLANTS

### Abstract

The biogas produced during the anaerobic digestion of wastewater sludge is often burned in order to reduce the greenhouse gas emissions. Very little of this biogas is used as an energy source in Brazil. In the present paper the volumes and characteristics of biogas produced at different anaerobic digesters in pilot and real scale in Brazil and Germany were determined, in order to evaluate the possibility of improvement of the anaerobic digester efficiency and study the availability of this biogas as alternative fuel. The biogas productions at the pilot plant experiments rendered 248 and 319 L biogas/kg dried solids (anaerobic digester sludge from bio filter and activated sludge processes). The biogas productions for real scale Wastewater Treatment plants (WWT) rendered 114, 480 and 310 L biogas/kg dried solids for three different activated sludge WWT plants, respectively in Brazil, Germany and Germany. The CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> concentrations of the biogas were between 65 – 70% and 30 – 35%. H<sub>2</sub>S concentrations in the biogas were lower than 200 ppm for the real scale German WWT plants, between 600 and 800 for the pilot plants (Brazil) and higher than 1000 ppm for the real scale WWT plants in Brazil. The use of biogas as vehicle fuel can be economically feasible when compared to the fuel price.

**KeyWords:** Biogas, Anaerobic Digestion, Bio fuel

---

<sup>1</sup> Fraunhofer Institut für Grenzflächen und Bioverfahrenstechnik

\*Corresponding author: Nobelstrasse, 12, Vaihingen, Stuttgart, Baden-Wuerttemberg 70569. Alemanha. Tel.: +49(711)970-4124. Fax: +49(711)970-4200. Email: [barbara.waelkens@igb.fraunhofer.de](mailto:barbara.waelkens@igb.fraunhofer.de)

## Resumo

O biogás produzido durante a digestão anaeróbia muitas vezes é queimado em flares a fim de reduzir a emissão de gases do efeito estufa, principalmente o metano. Pouco deste biogás é aproveitado como fonte energética. O presente trabalho determinou o volume e as características de biogás produzido em um digestor anaeróbio em escala real e em escala piloto em diferentes estações de tratamento de esgoto no Brasil e na Alemanha a fim de determinar capacidade de otimização da digestão anaeróbia e a utilização deste biogás como combustível veicular. Foram obtidas produções de biogás de respectivamente de 248 e 319 L de biogás/kg de sólidos adicionados para a digestão em escala piloto do lodo das ETEs filtros biológicos e lodos ativados convencional. Em escala real foram medidas produções de respectivamente 114, 480 e 310 L de biogás/kg de sólidos adicionados para as ETEs de lodos ativados no Brasil, na Alemanha com digestor de super alta taxa e na Alemanha com digestor de alta taxa. As concentrações de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> medidas no biogás foram de respectivamente cerca 65 – 70% e 30 - 35%, as concentrações de H<sub>2</sub>S no biogás estavam abaixo de 200 ppm para as ETEs em escala real na Alemanha, entre 600 e 800 ppm nos ensaios piloto e maiores do que 1000 ppm para as ETEs em escala real no Brasil. A utilização do biogás como combustível veicular pode ser economicamente viável ao se comparar o custo de seu tratamento com o preço do combustível.

**Palabras chave:** Biogás, Digestão Anaeróbia, Biocombustível

---

## Introdução

A estabilização anaeróbia de esgotos é uma das técnicas mais antigas de tratamento de esgoto conhecidas, existindo registros de tanques sépticos já na antiguidade. Há mais de 100 anos o tratamento anaeróbio também vem sendo utilizado para a estabilização de lodos de Estações de Tratamento de Esgoto (Haustermann-Haun, 1997). Neste meio tempo esta técnica foi sendo aperfeiçoada para aumentar a eficiência, seja através de uma mistura mais eficiente (Sternad e Zech, 2006) ou mediante o controle da temperatura do lodo (Imhoff, 1999). O controle e melhoria dos processos de digestão anaeróbia não tiveram influência apenas na redução da concentração de matéria orgânica ao final do processo, mas também influenciou na produção do biogás, subproduto da digestão composto principalmente de metano e dióxido de carbono. No Brasil, o biogás produzido durante a digestão anaeróbia atualmente é queimado em flares a fim de reduzir a emissão de gases do efeito estufa, principalmente o metano, que nesta queima é transformado em dióxido de carbono. Entretanto, com o aumento da discussão sobre a poluição atmosférica e aquecimento global, bem como sobre a dependência energética de combustíveis fósseis, o biogás produzido nas ETEs passou de resíduo para potencial fonte alternativa de energia, de forma que, após tratamento adequado, este pode substituir alguns combustíveis fósseis como gás natural, gasolina e diesel. A utilização do biogás como combustível veicular é uma tecnologia já implantada em alguns países Europeus como a Suécia e a Holanda, sendo que um metro cúbico de biometano (biogás purificado), com baixa concentração de dióxido de carbono possui o poder calorífico de cerca um litro de gasolina. Além disso, de acordo com o Departamento de Gás Natural da Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis, no Brasil atualmente existem cerca de 366.491 milhões de

metros cúbicos de gás natural disponível, o que equivale a apenas mais 22 anos de uso (MME, 04/2010). Nesta conjuntura, a utilização de uma fonte sustentável de energia, como o biogás, que possa complementar ou mesmo substituir o gás natural e outros combustíveis, passa a ser interessante.

A fim de utilizar o biogás produzido em ETEs como fonte de combustível é necessária a remoção de impurezas presentes neste como Sulfeto de Hidrogênio, Siloxanos, Amônia e outros, bem como a redução da concentração de dióxido de carbono a fim de aumentar seu poder calorífico. Uma primeira etapa consiste em caracterizar o biogás gerado, sendo que as características do biogás podem variar em cada caso. Uma vez determinadas as características do biogás, bem como os volumes produzidos é possível selecionar de forma mais adequada o de tratamento.

O presente trabalho tem como intuito avaliar estações reais em operação no Brasil, simulando em escala piloto a potencial produção de biogás e biometano mediante termoestatização do reator em ambiente mesofílico. Uma vez determinados o volume e características do biogás em duas ETEs foi realizado um estudo de caso para determinar o potencial deste biometano como combustível veicular.

### **Objetivo**

Determinar o volume e as características de biogás produzido em um digestor anaeróbio em escala real em diferentes estações de tratamento de esgoto no Brasil e na Alemanha, bem como o volume e as características do biogás em um digestor anaeróbio em escala piloto com alimentação de lodos de diferentes fontes. Comparar a qualidade do biogás gerado no digestor anaeróbio piloto com digestores anaeróbios de lodo das estações de tratamento de esgoto (ETEs) reais, a fim de determinar capacidade de otimização da digestão anaeróbia. A partir destes dados avaliar a viabilidade de utilizar o biogás gerado como combustível veicular.

### **Materiais e Métodos**

No presente trabalho foram realizados ensaios em escala piloto para a determinação da capacidade de produção e qualidade do biogás gerado em duas estações de tratamento de esgoto brasileiras com processos distintos. Uma das ETEs possui um processo de lodos ativados convencional e a outra um processo de filtros biológicos; ambas possuem digestor anaeróbio para a digestão do lodo. Os resultados obtidos nos ensaios piloto foram comparados com os resultados obtidos nas ETEs em escala real bem como com duas estações de tratamento de esgoto localizadas na Alemanha. As duas ETEs localizadas na Alemanha possuem um tratamento de esgoto por lodos ativados com remoção de nutrientes através da nitrificação e

desnitrificação e remoção de fósforo por precipitação química. A Tabela 1 apresenta um resumo das ETEs avaliadas.

**Tabela 1.** Tabela resumo das ETEs avaliadas

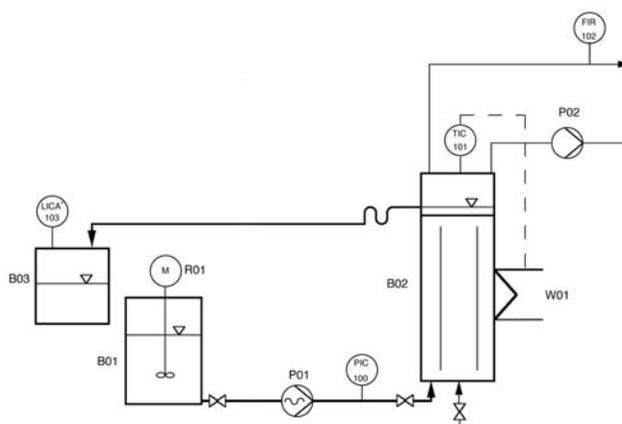
Tipo de ETE	Localização	População Equivalente Atendida (hab)	Tipo de Digestão
Lodos Ativados Convencional	Brasil	350.000	Digestor primário e secundário de alta taxa
Filtros Biológicos	Brasil	170.000	Digestor primário de baixa taxa
Lodos Ativados Nitri/Desnitrificação	Alemanha	360.000	Digestor primário de super alta taxa, secundário de alta taxa
Lodos Ativados Nitri/Desnitrificação	Alemanha	160.000	Digestor primário e secundário de alta taxa

A fim de obter os resultados referentes à produção e características do biogás nas ETEs em escala piloto foram realizados ensaios de digestão anaeróbia para o lodo das duas ETEs avaliadas no Brasil, em um reator anaeróbio com volume interno de 30 L. As ETEs em escala real foram avaliadas através de seus relatórios de operação, além de terem sido realizadas medições nas próprias ETEs, tanto no Brasil como na Alemanha.

A operação do digestor piloto é automatizada, sendo este alimentado a cada 3 horas. A Figura 1 mostra um esquema do reator piloto. Onde o tanque de equalização B01 recebe a amostra de lodo. Este tanque é equipado com um agitador mecânico (R01) que é acionado periodicamente antes e durante a alimentação do reator (B02). Com auxílio de uma bomba de deslocamento positivo (P01) o bioreator (B02) é alimentado oito vezes ao dia. O medidor de pressão eletrônico PIC 100 mede a pressão do fluido na alimentação e desliga a bomba automaticamente no caso de entupimento. O bioreator B02 funciona como um reator em loop, com um cilindro concêntrico em seu interior (Blenke, 1979). A mistura dentro do bioreator ocorre com a insuflação de biogás da parte superior no fundo do reator através da bomba P02. As bolhas de biogás sobem no interior do cilindro, de forma que a diferença de densidade entre o interior e o exterior do cilindro garantam a mistura do lodo.

O tempo de detenção hidráulica dentro do reator é de cerca 10 dias. A temperatura do bioreator é controlada através de um termostato para uma temperatura de 35 °C. A temperatura é medida pelo termômetro TIC 101, instalado na parte superior do reator. O biogás gerado passa por um medidor de gas (FIR 102) registrando o volume que passa pelo mesmo. A matéria orgânica digerida sai do digestor através de um sifão, de forma a evitar a perda de Biogás, e flui por gravidade para o tanque de resíduos B03. O nível do tanque B03 é monitorado por um medidor de nível por ultrassom. Ao alcançar o nível máximo a alimentação do bioreator

é interrompida. Após o esvaziamento de B03 a alimentação é reiniciada automaticamente. A operação do bioreator é controlada por um Controlador Lógico Programável.



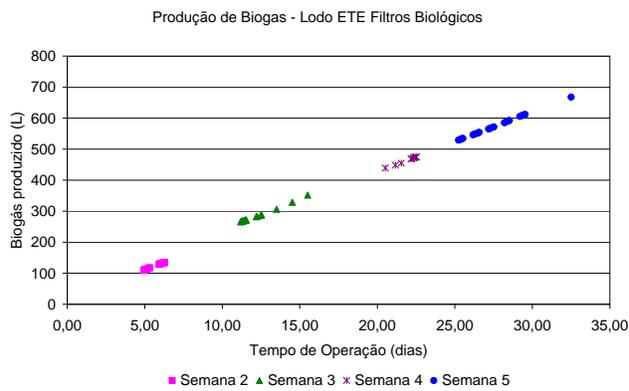
**Figura 1.** Esquema do reator e tanques

O biogás produzido foi coletado em um bag para coleta de gás de 10 L e em seguida sua composição foi determinada através de medição com sensores infra vermelho para metano e gás carbônico, e sensores eletroquímicos para a determinação de oxigênio e sulfeto de hidrogênio. Nos digestores das estações de tratamento de esgoto reais a composição do biogás foi medida diretamente na saída do biogás.

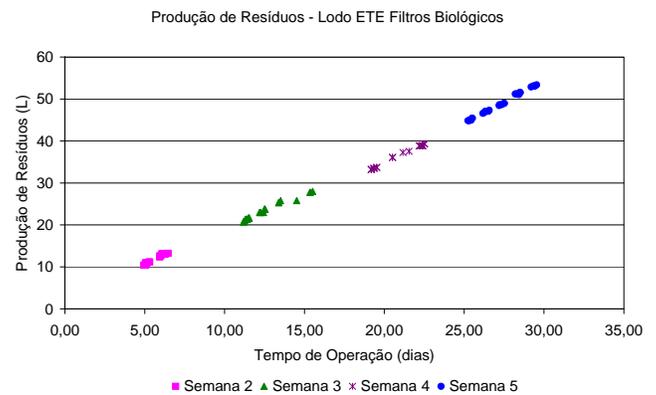
Uma vez determinada a produção e qualidade do biogás é possível estimar a capacidade de produção de biometano. Através da determinação do poder calorífico deste combustível também é possível estimar a quantidade de gasolina que poderia ser substituída.

## Resultados

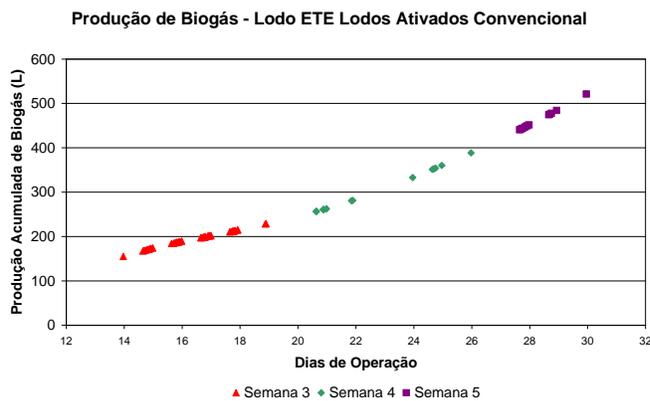
Durante o ensaio piloto foram medidas a produção e composição do biogás, o volume de lodo gerado pela digestão anaeróbia, bem como teor de sólidos do lodo de entrada. As Figuras 2 e 3 mostram respectivamente a produção acumulada de biogás a partir da digestão anaeróbia do lodo oriundo da ETE de Filtros Biológicos e o volume de resíduos gerado na digestão deste lodo. As Figuras 4 e 5 mostram respectivamente a produção acumulada de biogás e o volume de resíduos gerado na digestão do lodo oriundo da ETE de Lodos Ativados Convencional.



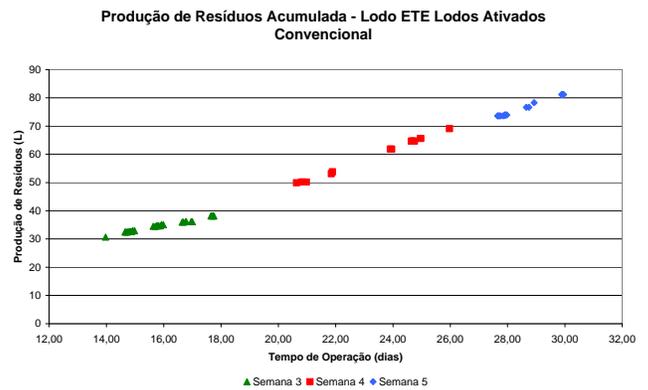
**Figura 2.** Produção de biogás acumulada do lodo oriundo da ETE com processo de filtros biológicos



**Figura 3.** Produção de resíduos acumulada do lodo oriundo da ETE com processo de filtros biológicos



**Figura 4.** Produção de biogás acumulada do lodo oriundo da ETE com processo de lodos ativados convencional



**Figura 5.** Produção de resíduos acumulada do lodo oriundo da ETE com processo de filtros biológicos

Através do método dos mínimos quadrados foi possível obter uma equação linear para cada semana de operação da unidade piloto, sendo que a inclinação das retas obtidas indica a produção média de biogás e o volume médio de resíduos no espaço de tempo avaliado. A inclinação das retas para cada semana de operação da ETE de filtros biológicos está apresentada nas Tabelas 2 e 3 e para a ETE de lodos ativados convencional nas Tabelas 4 e 5.

**Tabela 2.** Produção diária média de biogás com lodo da ETE com processo de filtros biológicos

Tempo de Operação	Inclinação da Reta (L/dia)	R <sup>2</sup>
Semana 2	18,6	0,999
Semana 3	19,4	0,994
Semana 4	18,6	0,993
Semana 5	19,3	0,999

**Tabela 3.** Produção diária média de resíduo com lodo da ETE com processo de filtros biológicos

Tempo de Operação	Inclinação da Reta (L/dia)	R <sup>2</sup>
Semana 2	2,0	0,977
Semana 3	1,6	0,974
Semana 4	1,8	0,994
Semana 5	2,0	0,995

**Tabela 4.** Produção diária média de biogás com lodo da ETE com processo de lodos ativados

Tempo de Operação	Inclinação da Reta (L/dia)	R <sup>2</sup>
Semana 3	14,1	0,996
Semana 4	24,4	0,998
Semana 5	34,7	0,999

**Tabela 5.** Produção diária média de resíduo com lodo da ETE com processo de lodos ativados

Tempo de Operação	Inclinação da Reta (L/dia)	R <sup>2</sup>	TS (%)
Semana 3	1,9	0,986	2,30
Semana 4	3,8	0,998	2,10
Semana 5	3,5	0,990	2,91

Além da produção de biogás e resíduo diários também foi determinado o teor de sólidos do lodo alimentado ao digester piloto. No caso do lodo oriundo da ETE com processo de filtros biológicos o teor de sólidos esteve sempre em torno de 4%, no caso da ETE com processo de lodos ativados convencional o teor de sólidos foi variável sendo determinado semanalmente (Tabela 5).

Dado que pelas características do experimento o volume de lodo produzido é equivalente ao volume de lodo alimentado, estimando uma densidade do lodo de cerca 1,02 kg/L e utilizando o teor de sólidos medido na investigação é possível estimar a massa de lodo alimentada. A Equação 1 mostra a relação entre o volume de biogás produzido (em Litros por dia) e a massa de lodo alimentada, possibilitando a comparação da produção de biogás para os diferentes casos.

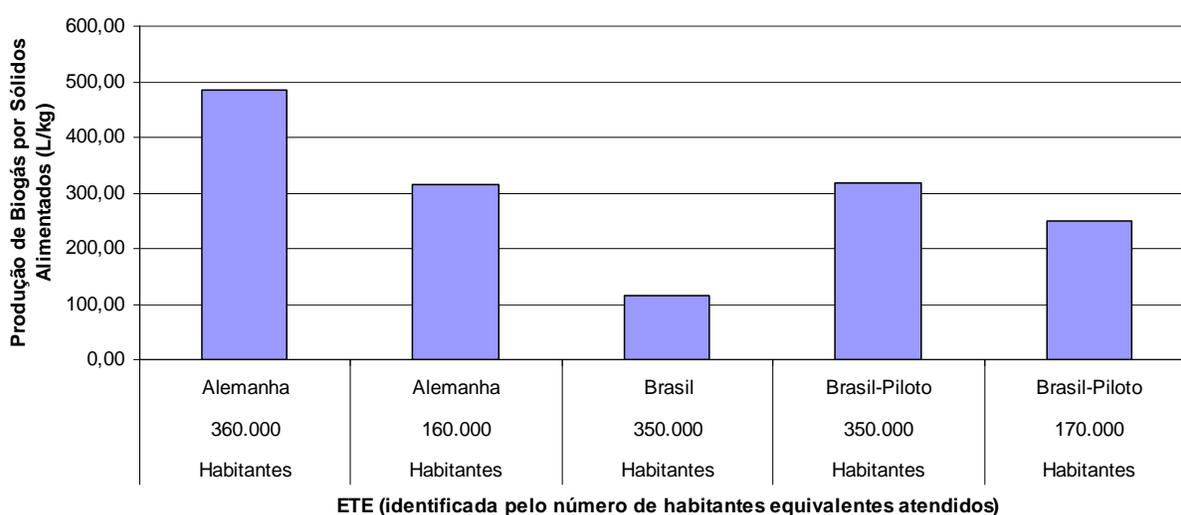
$$\text{Biogás} \left( \frac{L}{kg} \right) = \frac{\text{Biogás} \left( \frac{L}{dia} \right)}{\text{Lodo} \left( \frac{L}{dia} \right) * \rho_{\text{lodo}} \left( \frac{kg}{L} \right) * \frac{TS(\%)}{100}} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: Biogás: Volume de biogás gerado no dia; Lodo: Volume de Lodo produzido no dia;  $\rho_{\text{lodo}}$ : densidade do lodo (1,02 kg/L); TS: Teor de Sólidos (kg/kg)

Utilizando os dados obtidos nas Tabelas 2 e 3, e o teor de sólidos de 4% na Equação 1 obtém-se a produção de biogás por massa de sólidos adicionada para o lodo da ETE de Filtros Biológicos, resultando em uma média de 248 L de biogás por kg de sólido adicionado. Utilizando os dados obtidos nas Tabelas 4 e 5 foi obtida a produção de biogás média por massa de sólidos totais adicionada de cerca 320 L/kg para o lodo da ETE de lodos ativados convencional. A composição típica de biogás oriundo de ambos os lodos foi de cerca 70% de metano e 30% de dióxido de carbono, com uma concentração entre 600 a 800 ppm de sulfeto de hidrogênio.

Para fins de comparação foram avaliadas 4 estações de tratamento de esgoto em escala real. As principais diferenças entre as ETEs estão no tipo de digestor, na presença ou ausência de termostatização, e na população atendida (Tabela 1). A fim de permitir uma comparação da produção de biogás entre as ETEs em escala real com os resultados obtidos nos ensaios piloto, foi determinada a produção de biogás por kilo de sólidos afluentes à digestão. A Figura 6 apresenta esta comparação.

**Produção Média de Biogás por Sólidos Alimentados ao Digestor Anaeróbio**



**Figura 6.** Produção média de biogás por sólidos totais alimentados ao digestor anaeróbio, resultados dos ensaios piloto e diferentes ETEs avaliadas

A diferença na produção de biogás por sólidos mostra que existe uma discrepância entre a produção específica de biogás entre as ETEs. No presente caso tal fato se deve provavelmente a dois motivos: os digestores utilizados na Alemanha operam a uma temperatura mais alta do que

os digestores no Brasil e os digestores utilizados na ETE que atende os 360 mil habitantes são de super alta taxa, otimizados especialmente para aumentar a produção de biogás, diferentemente dos digestores das ETEs que atendem os 350 e 160 mil habitantes, cuja função é a estabilização do lodo, não sendo dada atenção especial para a quantidade de biogás gerado.

Observa-se que a produção de biogás da ETE Brasileira de lodos ativados convencional (350.000 habitantes) é significativamente maior em escala piloto do que em escala real. Nota-se também que a produção de biogás da ETE que atende 350 mil habitantes em escala piloto é semelhante à produção em escala real da ETE que atende 160 mil habitantes na Alemanha. Dado que o digestor anaeróbio piloto é termostatizado na zona mesofílica e que o digestor da ETE que atende 160 mil habitantes está termostatizado na mesma faixa de temperatura, sugere-se que o aumento da produção de biogás do digestor real para o digestor piloto se deve principalmente pela sua termostatização. Comparando os resultados obtidos para a ETE que atende um equivalente populacional de 360 mil habitantes com a produção de biogás para as outras ETEs observa-se que ainda é possível aumentar a produção de biogás através de algumas mudanças na operação dos digestores.

A composição do biogás nas ETEs em escala real avaliadas foi medida *in loco* e não apresentou muitas oscilações no tocante a composição de metano e dióxido de carbono. A ETE com maior teor de metano na composição de seu biogás foi a ETE que atende 350 mil habitantes no Brasil, beirando aos 70% de teor de metano no biogás. As outras ETEs apresentaram um teor de metano de cerca de 65%.

A principal diferença na composição do biogás foi identificada no teor de sulfeto de hidrogênio. Enquanto nas ETEs localizadas na Alemanha esta concentração geralmente está abaixo de 200 ppm, no Brasil a concentração de  $H_2S$  é de tipicamente 1000 ppm para a ETE de lodos ativados convencional, e maior do que 2000 ppm para a ETE de filtros biológicos. A diferença na concentração de  $H_2S$  das ETEs no Brasil se deve provavelmente ao fato de que o digestor anaeróbio da ETE de lodos ativados é misturado de forma mecânica e opera com alta taxa, enquanto o digestor anaeróbio da ETE de filtros biológicos é misturado apenas pela ação das bolhas de biogás formadas em seu interior e opera com baixa taxa. Desta forma provavelmente a fase metanogênica da digestão anaeróbia é mais eficiente na ETE de lodos ativados convencional, reduzindo a concentração de ácidos e  $H_2S$ , que é tipicamente formada na fase da hidrólise ou acidogênese através da quebra de moléculas como as proteínas. A diferença entre a concentração de sulfeto de hidrogênio entre as ETEs no Brasil e na Alemanha se deve provavelmente ao fato de que na Alemanha é necessária a remoção do fósforo do esgoto, geralmente através de precipitação que tem como efeito colateral a precipitação do sulfeto. A concentração do  $H_2S$  no biogás pode ser um fator limitante para a sua utilização. As ETEs localizadas no Brasil atualmente não utilizam o biogás gerado, sendo este queimado em um

flare. No caso de existir interesse em utilizar este biogás para a co-geração seria recomendada uma remoção grosseira do enxofre a fim de aumentar a vida útil da turbina de co-geração. No caso de haver interesse em utilizar este biogás como combustível veicular ou injeção na rede, seria necessária uma remoção fina do enxofre a fim de preservar os motores dos veículos bem como a remoção do dióxido de carbono a fim de aumentar o poder calorífico da composição de gás.

A viabilidade econômica da utilização do biogás de ETEs como combustível veicular para uma frota de veículos está relacionada com a quantidade de biogás produzido, o custo de purificação do biogás, a manutenção do equipamento de purificação e com o preço dos combustíveis. A partir dos dados obtidos para as ETEs Brasileiras avaliadas, tanto em escala real como através dos ensaios piloto, é possível estimar a produção de biometano tanto na condição real como na condição otimizada. A produção de biometano pode ser determinada a partir da Equação 2.

$$Biomet \left( \frac{m^3}{ano} \right) = PB * SA * \frac{1m^3}{1000L} * 0,65 \frac{L_{biomet}}{L_{biogás}} * 365 \frac{dia}{ano} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde: Biomet: Produção de Biometano ( $m^3/ano$ ), PB: Produção de Biogás ( $L/kg S_{Afi}$ ), e SA: Sólidos Afluentes Totais ( $kg S_{Afi}/dia$ )

Utilizando a equação 2, assumindo um caso típico de uma ETE de lodos ativados convencional atendendo 350.000 habitantes, com uma produção de lodo bruto de 0,08 kg/hab/dia (Imhoff, 1999),  $SA = 350.000 \text{ hab} * 0,08 \text{ kg/hab/dia}$ , e uma produção de biometano como a estabelecida no experimento em escala piloto ( $PB = 320 \text{ L de biometano/kg SA}$ ), é possível estimar uma produção anual de biometano em torno de  $2,1 * 10^6 m^3$ . Sabendo que o poder calorífico de um litro de gasolina é praticamente equivalente ao poder calorífico de  $1 m^3$  de metano pode-se dizer que esta estação típica tem o potencial de produzir algo em torno do equivalente a 2,1 milhões de litros de gasolina por ano.

## Conclusões

A partir dos resultados apresentados foi possível concluir que:

A produção de biogás em escala piloto a partir da digestão do lodo das ETEs de lodos ativados convencional e filtros biológicos foi de respectivamente 319 e 248 L de biogás por kilo de sólidos totais alimentados. A produção de biogás nos ensaios em escala piloto foi maior do que a produção em escala real para a ETE avaliada provavelmente por causa da termostatização do

digestor em escala piloto. Provavelmente por este mesmo motivo a produção de biogás do ensaio piloto da ETE com processo de lodos ativados no Brasil é equivalente à produção de biogás da ETE de lodos ativados com remoção de nutrientes e digestor de alta taxa na Alemanha.

O biogás obtido na digestão piloto apresentou características semelhantes para a digestão anaeróbia do lodo de ambas as ETEs avaliadas com concentrações de metano entre 65 e 70% e concentrações de dióxido de carbono entre 30 e 35%. Entretanto este não é adequado para a utilização direta, uma vez que sua concentração de sulfeto de hidrogênio está em torno de 600 a 800 ppm, podendo acarretar danos através de corrosão aos potenciais equipamentos a serem utilizados.

Nos ensaios piloto a concentração de sulfeto de hidrogênio no biogás é menor do que nos digestores em escala real. A menor concentração se deve provavelmente à melhor operação do processo de digestão, favorecendo a etapa metanogênica.

As ETEs com remoção de fósforo por precipitação na Alemanha possuem menores concentrações de sulfeto de hidrogênio no biogás, podendo este ser utilizado para aplicações como a co-geração. As ETEs sem remoção de fósforo por precipitação apresentam altas concentrações de sulfeto de hidrogênio no biogás, sendo necessária uma remoção grosseira do mesmo para que seja possível utilizá-lo para a co-geração. Para a utilização como combustível veicular a remoção fina de sulfeto de hidrogênio é necessária.

A produção de biogás das ETEs em escala real operando com digestores biológicos de super alta taxa foi maior do que a produção de biogás das ETEs operando com digestores biológicos de alta taxa e a produção de biogás em digestores termostatizados é maior do que em digestores não termostatizados. Portanto, para a produção de biogás tem se: super alta taxa termostatizado > alta taxa termostatizado > alta taxa não termostatizado.

### Referências bibliográficas

- Blenke, H. (1979). Loop Reactors, Adv. Biochem. Eng. **13**, 121-214
- Haustermann-Haun, U. (1997). Inbetriebnahme anaerober Festbettreaktoren, Institut fuer Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universitaet Hannover, **93**
- Imhoff, K. R.; Imhoff, K. (1999). Taschenbuch der Stadtentwässerung, 29<sup>a</sup> Edição, Munique, Oldenburg, Viena
- MME, Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis, Departamento de Gás Natural (04/2010), Boletim Mensal de Acompanhamento da Indústria de Gás Natural, Nr. 37
- Sternad, W. e Zech, T. (2006). Anaerobe kommunale Abwasserreinigung – Chancen zur Kostenreduzierung, 2ter Muenchener Abwassertag