

## **Análise dos sistemas de conversão de energia através do biogás produzido pelo esgoto cloacal**

Ana Paula Ost (FAHOR) [ao000987@fahor.com.br](mailto:ao000987@fahor.com.br)

Claudia Vanessa Kräulich (FAHOR) [ck000979@fahor.com.br](mailto:ck000979@fahor.com.br)

Michael Pasa (FAHOR) [mp000966@fahor.com.br](mailto:mp000966@fahor.com.br)

Silvana Michele Bledoff (FAHOR) [sb000898@fahor.com.br](mailto:sb000898@fahor.com.br)

Joel Antônio Tauchen [joel@fahor.com.br](mailto:joel@fahor.com.br)

### **Resumo**

*A obra consiste em descrever as etapas envolvidas na biodigestão do esgoto cloacal para produção de biogás explicitando os meios envolvidos desde a sua coleta até a sua transformação em biogás e biofertilizante. Faz-se a distinção entre as fases da biodigestão e a descrição de suas principais características e componentes microbióticos e a identificação dos diferentes fatores que influenciam na maior ou menor produção de biogás, incluindo a temperatura, o Ph da solução, a quantidade de sólidos e o tempo de retenção. Analisa-se o potencial calorífico do biogás e faz-se a identificação dos elementos químicos que interferem nesse potencial, relacionando esses componentes resultantes com os componentes da solução digerida, para que possa ser feita uma correção dos elementos componentes do esgoto, de modo a obter um gás com melhor capacidade de queima. É abordado um estudo dos diversos processos de aproveitamento energético do biogás e as principais tecnologias disponíveis para convertê-lo em energia elétrica. A utilização dos resíduos da biodigestão como fertilizantes também é abordada. De uma forma geral, procura-se analisar a colaboração para o meio ambiente que tal método de tratamento pode proporcionar.*

*Palavras chave: Biogás, Energia Renovável, Biodigestão anaeróbica.*

### **1. Introdução**

A utilização da biomassa como fonte energética é uma prática que soluciona dois problemas urbanos atuais: energia e resíduos sólidos. A deficiência no tratamento do esgoto cloacal é um problema que atualmente atinge praticamente todas as áreas do Brasil, na maioria dos casos, o esgoto é despejado sem tratamento algum, diretamente no meio ambiente. Da mesma forma, a crise energética e o plano de racionamento de 2001, chamaram atenção para um fator importante: a necessidade de diversificar as fontes de energia.

Colombo (1992) apud Vanzin et. al. (2006) afirma que o desenvolvimento do terceiro mundo e a proteção do meio ambiente são os dois maiores problemas globais que

devem ser enfrentados pela humanidade nas próximas décadas. Ambos estão rigorosamente interligados. A energia, motor de crescimento econômico, é também a principal causa da degradação do meio ambiente.

A utilização de biodigestores anaeróbicos como forma de tratamento para os resíduos urbanos, possibilita não somente a destinação adequada do esgoto, como também a geração de lucro através dos subprodutos gerados como biogás e biofertilizantes. A qualidade do tratamento destes resíduos reflete na qualidade de vida da população e do planeta.

Diante deste cenário, o objetivo deste trabalho é a análise dos processos envolvidos na transformação de resíduos e dejetos que muitas vezes seriam despejados em locais inapropriados, em co-produtos, tais como, biogás e biofertilizante.

Segundo Brasil (1998), apenas 3,4% do esgoto sanitário coletado nos domicílios brasileiros recebe tratamento e só uma pequena parcela tem destinação final sanitariamente adequada no meio ambiente. Resumindo, todos os 41,8 milhões de domicílios brasileiros produzem esgoto sanitário, desse total, 31,5 milhões produzem esgoto sanitário de forma mais intensiva, 12,8 milhões despejam diariamente o esgoto sanitário a céu aberto.

## 2. Revisão da Literatura

### 2.1 Análise da Composição do Biogás

Atribui-se o nome de biogás à mistura gasosa, combustível, resultante da fermentação anaeróbia da matéria orgânica. O tratamento de resíduos, tanto sólidos quanto líquidos, empregados a tecnologia de degradação anaeróbia, promove a geração de biogás.

Segundo Alves apud Costa (2006), o biogás é uma mistura dos seguintes gases:

- Metano (CH<sub>4</sub>): de 50% a 90% vol.;
- Gás carbônico de (CO<sub>2</sub>): 10 A 50% vol.;
- Outros gases: de 1 a 5% vol., divididos em:
- Hidrogênio (H<sub>2</sub>): de 0 a 1% vol.;
- Gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S): de 0 a 3% vol.;
- Oxigênio (O<sub>2</sub>) + nitrogênio (N<sub>2</sub>): de 0 a 1% vol.

Ainda segundo Costa (2006), para termos certeza quanto a viabilidade de utilizar o biogás, precisamos primeiramente avaliar o poder calorífico quando comparado a outros combustíveis, além do conhecimento quanto a outras propriedades como a presença de contaminantes, acidez, e pressão. A análise destes fatores contribui para que possam ser feitas as adaptações necessárias ao emprego do biogás.

#### 2.1.1 Processo de formação do Biogás

A digestão anaeróbia é um processo fermentativo que tem como finalidade a remoção de matéria orgânica, a formação de biogás e a produção de

biofertilizantes ricos em nutrientes (PECORA, 2006). A fermentação anaeróbia pode ser considerada como um processo de três estágios, no primeiro, compostos orgânicos insolúveis são transformados, por meio de hidrólise enzimática, em compostos orgânicos solúveis de cadeia de carbono mais curta, devido à ação de microorganismos. Os compostos solúveis formados constituem-se em substratos para os microorganismos do segundo estágio, quando são transformados em ácidos orgânicos, principalmente o acético, de cadeias com até 6 átomos de carbono. No terceiro estágio ocorre a formação de metano. As bactéria metanogênicas utilizam o ácido acético do estágio anterior para produção desse gás (NETO, 2006).

De uma forma geral a quantidade de biogás gerado, varia sob a influência de fatores como, composição do resíduo, ambiente anaeróbio, umidade, pH e temperatura, dos quais destacam-se:

- Composição do resíduo: quanto maior a porcentagem de material orgânico no resíduo, maior será o potencial de produção de biogás. Materiais que se decompõe rapidamente, aceleram a taxa de geração de biogás (FIGUEIREDO, 2007);
- pH: em meio ácido, a atividade enzimática das bactérias é anulada. Num meio alcalino, a fermentação produz anidrido sulfuroso e hidrogênio. A digestão pode efetuar-se entre pH 6,6 e 7,6 encontrando-se o ótimo a pH=7 (COSTA, 2006).
- Temperatura: deve ser controlada para manter-se o mais constante possível, sem grandes variações. As bactérias responsáveis pela biodigestão são muito sensíveis, e, variações de 3°C, já são suficientes para provocar uma queda na geração de biogás. Em torno de 10°C esta atividade é muito reduzida e acima de 65°C as enzimas produzidas pelas bactérias são destruídas pelo calor. Portanto, a faixa ideal para a produção de biogás é de 32°C a 37°C (bactérias mesofílicas) e de 50°C a 60°C (bactérias termofílicas) (PECORA, 2006).

Em relação à matéria a fermentar, há que levar em consideração a relação carbono/nitrogênio (C/N), que deve ter um valor compreendido entre 30 e 35. Acima deste valor, o processo é pouco eficaz, já que as bactérias não têm possibilidade de utilizar todo o carbono disponível. Para um valor baixo corre-se o perigo de aumentar a quantidade de amoníaco, que pode atingir os limites da toxicidade. É de considerar também a presença de fósforo, já que a sua ausência, conduz à interrupção da fermentação (REVISTA ANALYTICA – Fevereiro/Março 2005 – N°15 apud COSTA, 2006).

### 2.1.2 O Potencial Calorífico do Biogás

Segundo Costa apud Silva, Navarro e Almeida (2009), o poder calorífico é a quantidade de calor transferida da câmara durante a combustão ou reação a temperatura constante.

Um estudo feito por da Silva (1983) mostrou que de acordo com a quantidade de metano no biogás o seu poder calorífico aumenta, pois o CO<sub>2</sub>, o outro produto da digestão anaeróbia, é a forma mais oxidada do carbono, não podendo ser mais queimado. Nogueira & Zürd apud Silva, Navarro e Almeida (2009) utilizam o valor

médio de 58,5% de concentração de metano no Biogás. Considerar-se-á, portanto, seguindo essa referência, que cada m<sup>3</sup> de biogás é capaz de produzir 5,8 kWh.

Sob o ponto de vista térmico, este gás classifica-se pouco acima dos gases combustíveis de poder calorífico médio e, com a remoção do CO<sub>2</sub>, o mesmo se aproximaria dos gases de alto poder calorífico (AZEVEDO NETTO apud MENDONÇA e CAMPOS, 2002).

A tabela 1 traz informações comparativas entre as características de vários combustíveis, relacionando valores de massa específica e poder calorífico.

Tabela 1 - Características de vários combustíveis (no caso dos gases considera-se Nm<sup>3</sup> nas CNTP – Condições Normais de Temperatura e Pressão (1 atm, 0°C)

Combustível	Massa Específica Kg/Nm <sup>3</sup>	Poder Calorífico	
		Inferior Kcal/Kg	Superior Kcal/Kg
Petróleo	867	10.200	10.900
Óleo Diesel	851	10.180	11.230
Gasolina	738	10.556	11.230
Carvão Vegetal	250	6.115	6.800
Querosene	787	10.396	11.090
Gás de refinaria	0,78	8.272	8.800
GLP	552 (liq.) 2.29(gás)	11.026	11.750

Fonte: (Alves, apud COSTA 2006)

A tabela 2 apresenta a variação do poder calorífico em relação à composição do biogás.

Tabela 2 - Variação do poder calorífico em relação à composição do biogás

Composição Química do Biogás	Peso Específico (Kg/Nm <sup>3</sup> )	Poder Calorífico Inferior (Kcal/Kg)
10% CH <sub>4</sub> , 90% CO <sub>2</sub>	1,8393	465,43
40% CH <sub>4</sub> , 60% CO <sub>2</sub>	1,4643	2.338,52
60% CH <sub>4</sub> , 40% CO <sub>2</sub>	1,2143	4.229,98
65% CH <sub>4</sub> , 35% CO <sub>2</sub>	1,1518	4.831,14
75% CH <sub>4</sub> , 25% CO <sub>2</sub>	1,0268	6.253,01
95% CH <sub>4</sub> , 05% CO <sub>2</sub>	0,7768	10.469,60
99% CH <sub>4</sub> , 01% CO <sub>2</sub>	0,7268	11.661,02

Fonte: (Avellar, apud COSTA 2006).



Energeticamente o biogás purificado corresponde ao GNC (Gás Natural Combustível), sendo que seu poder calorífico é menor quanto maior for a proporção de contaminantes na mistura que o compõe. Em linhas gerais este poder calorífico é igual a 5.000 Kcal/Nm<sup>3</sup> (para biogás com 60% de CH<sub>4</sub> e 40% de CO<sub>2</sub>), o que corresponde a um litro de óleo Diesel (ETSU apud ALVES, 2000).

## 2.2 Características gerais dos Biodigestores

Biodigestor é uma câmara fechada onde é colocado o material orgânico para decomposição (WINROCK INTERNATIONAL BRASIL, 2008). A decomposição que o material sofre no interior do biodigestor chama-se digestão anaeróbica, com a consequente geração de biogás e bifertilizante (DEGANUTTI et al., 2002). Sendo que o biodigestor não produz o biogás, mas proporciona as condições adequadas para que as bactérias metanogênicas atuem sobre a biomassa, em um processo de fermentação da matéria orgânica, para produção desse combustível (COLDEBELLA, 2006).

Entre os benefícios alcançados com a utilização do biodigestor, segundo Winrock International Brasil (2008), destacam-se:

- Geração de biogás, energia renovável e limpa; o qual traz benefícios ambientais tais como a redução da emissão de gases causadores do efeito estufa.
- Produção de biofertilizante;
- Melhoria das condições de higiene para os animais e pessoas;
- Preservação da flora e fauna nativas. O biogás, como substituinte da lenha reduz a necessidade de corte de árvores;
- Benefícios sociais e econômicos.

Para efluentes líquidos, a digestão anaeróbica apresenta importante papel, pois permite a redução significativa do potencial poluidor dos resíduos (PECORA 2006). A biodigestão, além disso, contribui para o saneamento, reduzindo o número de patógenos no produto final (ORRICO; JÚNIOR e ORRICO JÚNIOR, 2007). Apesar disso ainda não é um método muito utilizado e grande parte dos efluentes ainda é lançado sem tratamento algum nos corpos d'água.

Em relação ao abastecimento de biomassa, o biodigestor pode ser classificado como contínuo - abastecimento diário de biomassa – com descarga proporcional à entrada de biomassa, ou intermitente, quando utiliza sua capacidade máxima de armazenamento de biomassa, retendo-a até a completa biodigestão. O modelo de abastecimento intermitente é mais indicado quando da utilização de materiais orgânicos de decomposição lenta e com longo período de produção. (GASPAR, 2003, apud FONSECA, ARAÚJO e HENDGES, 2009).

O sistema mais difundido é o sistema contínuo, cujos modelos mais conhecidos são o indiano, o chinês e o Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente (UASB).

### 2.2.1 Biodigestor modelos Indiano e Chinês

O modelo indiano, geralmente, tem a forma de um poço com a função de tanque

digestor e apresenta uma campânula de ferro flutuante para o armazenamento do biogás e que permite o fornecimento de biogás à pressão estável. Atualmente a campânula pode ser substituída por fibra, plástico ou mantas de PVC (COLDEBELLA, 2006). Segundo Deganutti et al. (2002), a campânula utilizada como gasômetro, pode estar mergulhada sobre biomassa ou em um selo d'água externo, reduzindo as perdas durante o processo.

O modelo chinês é rústico e completamente construído em alvenaria, ficando quase que totalmente enterrado no solo. Funciona, normalmente, com alta pressão, a qual varia em função da produção e consumo do biogás. As paredes externas e internas precisam receber uma boa camada de impermeabilizante. (GASPAR, 2003 apud FONSECA, ARAÚJO e HENDGES, 2009).

Tem um custo baixo de implantação, é mais durável, ocupa pouco espaço na superfície do solo, apresenta-se fixo, sem partes metálicas, no entanto, as oscilações de pressão no gasômetro (local de armazenamento do gás) provocam vazamentos, tornando o manejo complicado (FONSECA, ARAÚJO e HENDGES, 2009).

Para ambos os modelos, o substrato deverá ser fornecido continuamente, com uma concentração de sólidos totais em torno de 8%, para evitar entupimentos do sistema de entrada e facilitar a circulação do material (DEGANUTTI et al., 2002).

### 2.2.2 Biodigestor modelo UASB

O reator UASB é uma unidade de fluxo ascendente, em que o esgoto passa por uma região de alta concentração de microrganismos anaeróbios, que se agrupam em grânulos ou flocos. Não necessita de qualquer equipamento especial para seu funcionamento, resultando em baixo consumo de energia.

A concentração de biomassa no reator é bastante elevada, devido a esta concentração e a fatores que admitem a aplicação de elevadas taxas de carregamento orgânico, o volume requerido para esses reatores é bastante reduzido, em comparação com o de outros sistemas de tratamento (MENDONÇA & CAMPOS, 2002).

Estes sistemas têm sido projetados com tempos de permanência da matéria orgânica da ordem de cinco a seis horas, com eficiências de remoção de DQO da ordem de 70% no tratamento de esgotos sanitários (JORDÃO & PÉSSOA, 1995 apud SCHOENHALS, FRARE e SARMENTO, 2007). Entretanto, valores muito baixos de TRH (tempo de retenção hidráulica), podem prejudicar o funcionamento do sistema em relação à perda excessiva de biomassa e possibilidade de falha do sistema, uma vez que o tempo de permanência de biomassa no reator pode ser inferior ao tempo de crescimento das bactérias.

Nesse sistema o biodigestor é alimentado pelo fundo do reator, o efluente passa por uma camada de biomassa ativa, o decantador interno permite que as partículas de lodo retornem à zona de digestão (PECORA, 2006). Ao longo desse percurso uma série de mecanismos contribui para a purificação das águas residuárias. Estes mecanismos ocorrem em cinco zonas: câmara de digestão, zona de transição, separador de fases, zona de sedimentação e zona de acumulação de gás,

representados na figura 1 (SCHOENHALS, FRARE e SARMENTO, 2007).

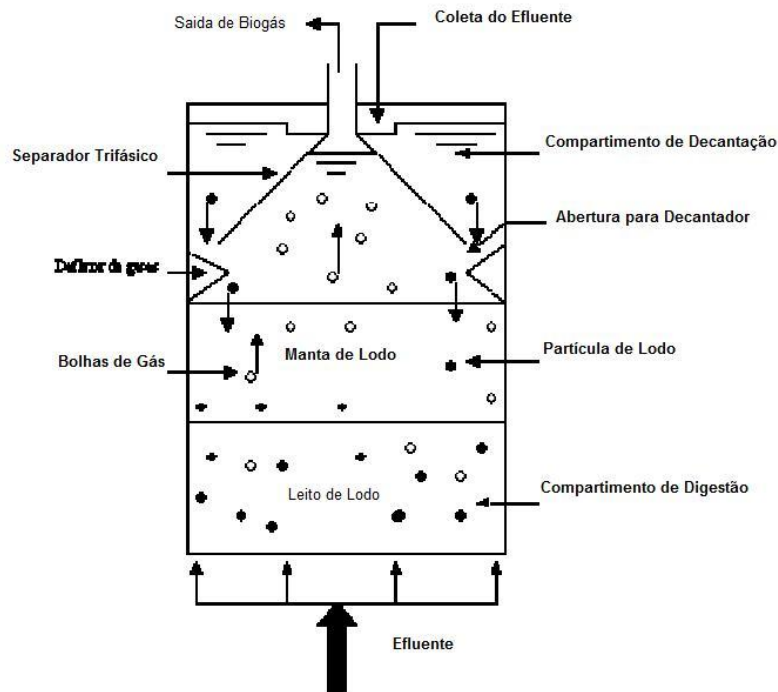


Figura 1 - Representação esquemática de um reator UASB. Fonte: Schoenhals, Frare e Sarmento (2007).

Nos reatores UASB, após a separação dos gases, o líquido e as partículas sólidas que deixam a manta de lodo têm acesso ao compartimento de decantação onde são necessárias condições ideais de sedimentação, ou seja, baixas velocidades ascensionais e TRH mínimo de uma a duas horas (no decantador) para que haja efetividade na clarificação do efluente e retorno da biomassa ao sistema (IMHOFF & IMHOFF 1985 apud SCHOENHALS, FRARE e SARMENTO, 2007).

### 2.2.3 Biofertilizantes, um subproduto da biodigestão

O biofertilizante é um adubo orgânico líquido produzido em um processo de fermentação, em meio aeróbico ou anaeróbico, a partir de uma mistura de materiais orgânicos (esterco, frutas, leite), minerais (macro e micronutrientes) e água (NETO, 2006).

Pode-se dizer que o biofertilizante por ser um produto fermentado por microorganismos e ter como base a matéria orgânica, possui em sua composição quase todos os nutrientes, variando em suas concentrações, dependendo muito diretamente da matéria-prima a ser fermentada.

No que diz respeito à parte analítica de sua composição, o biofertilizante apresenta macro e micronutrientes assimiláveis pelo vegetal, tais como: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, sódio, ferro, cloro, sílica, molibdênio, boro, cobre, zinco e manganês. O seu pH pode variar de 7,0 a 8,0 e poderá também ser inferior quando a fermentação for incompleta (SANTOS, 1992).

O biofertilizante líquido pode ser utilizado de várias maneiras sendo que o método mais eficiente é a aplicação através de pulverizações nas folhas, as quais promovem um efeito mais rápido. Nas pulverizações, o biofertilizante deverá cobrir totalmente as folhas e ramos das plantas, chegando ao ponto de escorrimento, para um maior contato do produto com a planta (SANTOS, 1991; SOUZA & RESENDE, 2003).

Além do efeito nutricional conhecido, os biofertilizantes apresentam efeitos de ação fungistática e bacteriostática sobre fitopatógenos, aumentando a resistência das plantas ao ataque de pragas e doenças, comprovado por pesquisadores da Embrapa (BETTIOL, 1998).

### 2.3 Tecnologias de Conversão de Biogás em Energia

Existem diversas tecnologias para efetuar a conversão energética do biogás. Entende-se por conversão energética o processo que transforma um tipo de energia em outra (COELHO et al., 2001).

Pecora (2006) afirma que a conversão energética do biogás é o processo de transformação da energia química das moléculas do biogás, por meio de uma combustão controlada, em energia mecânica, que por sua vez será convertida em energia elétrica.

As tecnologias convencionais para a transformação energética do biogás mais utilizadas são as turbinas a gás e os motores de combustão interna. Existem também tecnologias emergentes como as células de combustíveis que, ainda em fase de desenvolvimento e aperfeiçoamento, pode ser considerada uma tecnologia promissora (CASTRO, 2006 apud FIGUEIREDO, 2007).

No caso das turbinas a gás, elas ainda podem ser divididas em microturbinas (potência até 100 kW) e turbinas de grande e médio porte (até 300 MW).

Existem também as chamadas turbinas a vapor, porém elas não utilizam diretamente um combustível para a queima, como nos casos das turbinas a gás, mas convertem a energia térmica do vapor proveniente de um sistema de cogeração, como uma caldeira a gás, por exemplo, em energia mecânica (COSTA, 2006).

Segundo o mesmo autor, os motores de combustão interna dividem-se em ciclo Otto e ciclo Diesel, eles transformam a energia térmica de um combustível em energia mecânica através do acionamento de pistões confinados em cilindros.

#### 2.3.1 Motores de Combustão Interna

A nomenclatura “motor de combustão interna” é normalmente aplicada aos motores alternativos do tipo normalmente usados em automóveis, caminhões e ônibus. Nos motores referidos os processos ocorrem dentro de arranjos cilindro-êmbolo, com movimentos alternativos. Os dois tipos de motores de combustão interna alternativo são: o motor com ignição por centelha e o motor com ignição por compressão. No motor com ignição por centelha, uma mistura de combustível e ar é incendiada por uma faísca de vela. No motor com ignição por compressão, o ar tem sua pressão e temperatura elevada até um ponto onde o combustível ao ser injetado, incendeia-se espontaneamente (PIEROBON, 2007).

O autor também ressalta que os motores de combustão interna com centelha são



vantajosos para aplicações de baixa potência até 2225 kW (300hp), devido ao baixo peso e custo são geralmente utilizados em automóveis. Os motores com ignição por compressão são preferidos para operações em aplicações onde são requeridas grandes potências e economia de combustível – como, por exemplo em caminhões e ônibus.

Pecora (2006) afirma que a diferença básica entre o ciclo Otto e o Diesel está na forma em que ocorre a combustão. No ciclo Diesel, a combustão ocorre pela compressão do combustível na câmara de combustão, enquanto que no ciclo Otto, a combustão ocorre pela explosão do combustível através de uma faísca na câmara de combustão. O ciclo Otto consiste em expansão/resfriamento adiabático, seguido de resfriamento a volume constante, aquecimento/compressão adiabático e aquecimento a volume constante. A válvula de entrada de ar abre no tempo preciso para permitir a entrada de ar (misturado ao combustível) no cilindro. A vela dá ignição na mistura no cilindro, o que cria a explosão. A força da explosão é transferida ao pistão. O pistão desce e sobe em movimento periódico. A força do pistão é transferida através da manivela para o eixo de transmissão.

### 2.3.2 Turbinas a gás

Segundo Pecora (2006) turbinas a gás para geração estacionária foram desenvolvidas a partir das turbinas usadas em aviação, onde o fluido é o gás da câmara de combustão. São compostas de um compressor de ar, câmara de combustão e turbina. O compressor é acionado pela própria turbina. Na turbina a gás estacionária, o dimensionamento é feito para que os gases de exaustão da turbina saiam em velocidade baixa aumentando a geração de energia da turbina, e portanto, gerando um excedente de energia para o gerador.

As turbinas a gás podem ser classificadas, de acordo com o ciclo de operação, em ciclo fechado e ciclo aberto. No ciclo aberto o fluido de trabalho é comprimido (no compressor) elevando-se a pressão, não tendo nenhum calor adicionado, visto que o compressor opera, em condições normais, em regime adiabático, fazendo com que o trabalho de compressão aumente a temperatura do ar, este então entra na câmara de combustão, e em contato com o combustível reage, iniciando o processo de queima. Os gases resultantes da combustão, à elevada temperatura expandem-se gerando energia mecânica e acionando o compressor. No ciclo fechado os gases que deixam a turbina passam por um trocador de calor onde sofrem resfriamento para entrar novamente no compressor (MORAN e SHAPIRO, 2002).

### 2.3.3 Sistema de Cogeração de Energia Elétrica

Define-se como cogeração a produção combinada de calor e eletricidade, ou seja, a transformação de energia térmica de um combustível (biogás) em mais de uma forma de energia útil, independente do processo de conversão utilizado (turbinas a gás, motores ciclo Otto ou Diesel, microturbinas, etc). Para grupos motor-gerador, a eficiência de conversão em energia elétrica é relativamente reduzida. Dependendo da potência, a eficiência varia de 25% a 38%, em relação a energia inicial presente no biogás. Lembrando que o restante da energia contida no biogás (60-75%) é convertida em energia térmica (COLDEBELLA, 2006).

Segundo Costa (2006) para a geração elétrica o ciclo combinado de cogeração é o

mais utilizado. O combustível é queimado em uma turbina a gás e a energia contida nos gases de exaustão produz vapor em uma caldeira de recuperação. O vapor da caldeira de recuperação aciona uma turbina a vapor de condensação. Tanto a turbina a gás quanto a turbina a vapor acionam geradores para produção de energia elétrica, que é a única forma de energia útil retirada do sistema.

De acordo com o autor este ciclo prioriza a eficiência de conversão da energia do combustível para a energia elétrica. As grandes instalações em ciclo combinado atingem atualmente eficiências superiores a 55%.

### 2.3.4 Análise Comparativa entre as tecnologia

Embora os motores, como podemos observar na tabela abaixo, possuam maior eficiência de conversão elétrica, as turbinas a gás podem apresentar um aumento de sua eficiência global de conversão, quando operadas em sistemas de cogeração (calor e eletricidade) (COSTA et al., 2001 apud FIGUEIREDO, 2007).

Tabela 3 - Tabela comparativa entre as tecnologias de conversão

Tecnologia de Conversão	Potência instalada	Rendimento Elétrico	Emissão de NOx partes por milhão (ppm)
Motores a Gás (Ciclo Otto)	30 kW – 20 MW	30% - 40%	250 – 3000
Turbinas a Gás (Médio Porte)	500 kW – 150 MW	20% - 30%	35 – 50
Microturbinas (Pequeno Porte)	30 kW – 100 MW	24% - 28%	< 9

Fonte: (CENBIO 2000)

Tanto o uso de motor-geradores do tipo Ciclo Otto ou Diesel quanto de turbinas a gás têm seus rendimentos em torno de 30% a 40%. O uso dos gases de escape gerando vapor pode elevar a eficiência do conjunto para aproximadamente 70% (SILVA apud ALVES, 2000).

Nota-se que as turbinas apresentam índice de envio de NOx (gás de grande impacto quando relacionado ao efeito estufa) extremamente menor do que o emitido pelos motores, sendo assim a grande vantagem do uso deste tipo de tecnologia está diretamente vinculada ao ganho ambiental, quando comparada às demais tecnologias apresentadas (CENBIO, 2006).

### 3. Conclusões

A utilização da biomassa como fonte energética é uma prática que ameniza dois problemas urbanos atuais, além de gerar energia, ela também é uma possível solução para os problemas de gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil. No entanto, isto pode não ser uma solução final para este problema, todavia, é a melhor

opção que dispõe-se atualmente. Esforços e estudos devem ser feitos em busca da minimização da geração de resíduos e aumento das práticas de reciclagem.

O presente artigo apontou a possibilidade de recuperação e uso energético do biogás gerado pelo tratamento anaeróbico do esgoto cloacal, servindo também como incentivo para a ampliação da prestação deste serviço no Brasil, integrando o uso sustentável dos recursos naturais renováveis com o uso racional da energia. No entanto, para que isso ocorra, é necessário que o biogás produzido apresente composição e características adequadas à tecnologia de conversão empregada.

Conclui-se que no contexto atual, verifica-se a adoção de inúmeras ações visando o aproveitamento de energias renováveis como uma progressiva redução do uso de combustíveis fósseis. Neste cenário o papel da biomassa, inclusive do biogás é e será fundamental para a reestruturação da produção, distribuição e uso da energia, incorporado ao desenvolvimento de novas tecnologias de aproveitamento energético, contribuindo para uma preservação ambiental mais efetiva.

#### 4. Referências

- ALVES, J. W. S.. Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos. São Paulo, PIPGE/USP, M. Sc., Energia - Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, 2.000.142 p.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE, DATASUS. Base de dados sobre a Saúde no Brasil. 1998, Disponível em:<<http://www2.datasus.gov.br> > Acesso em: 06 Jun. 2010.
- BETTIOL, W.; TRATCH, R. GALVAO, J.A.H. Controle de doenças de plantas com biofertilizantes. Jaguariuna: EMBRAPA – CNPMA, 1998. 22 p.
- CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa (2000). Medidas Mitigadoras para a redução de Emissões de Gases Estufa na Geração Termelétrica. Dupligráfica Editora. 222p, Brasília. 2000.
- COELHO, S. T. et. al. Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto. CENBIO – Centro Nacional de Referência de Biomassa, São Paulo. 2001. Disponível <<http://www.proceedings.scielo.br>> Acesso em 13 jun. 2010.
- COLDEBELLA, A. Viabilidade do Uso do Biogás da Bovinocultura e Suinocultura para Geração de Energia Elétrica e Irrigação em Propriedades Rurais. Cascavel-PR, junho 2006. Dissertação de Mestrado –Universidade Estadual do Oeste do Paraná-UNIOESTE, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.
- COSTA, D.F. Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto. Dissertação de Mestrado. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) da Universidade de São Paulo. 194 p. São Paulo, 2006.
- 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 Representações Gráficas, FAAC- Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, UNESP- Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Bauru, São Paulo, 2002.
- FIGUEIREDO, N. J. V. Utilização do Biogás de Aterro Sanitário para Geração de Energia Elétrica e Iluminação a Gás – Estudo de Caso. São Paulo, 2007. Trabalho de Graduação Interdisciplinar apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie.
- FONSECA, F. S. T.; ARAÚJO, A. R. A.; HENDGES, T. L.. Análise de Viabilidade Econômica de Biodigestores na Atividade Suinícola na Cidade de Balsas – MA: Um Estudo de Caso. Porto Alegre,

26 a 30 de julho de 2009. Apresentação Oral-Agropecuária, Meio-Ambiente, e Desenvolvimento Sustentável. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural – SOBER.

MENDONÇA, L. C.; CAMPOS, J. R. Potencialidade do Uso do Biogás Gerado em Reatores UASB na Secagem de Lodo. 1997. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo-Departamento de Hidráulica e Saneamento.

MORAN, M. J., SHAPIRO, H. N. Princípios De Termodinâmica para Engenharia. Rio de Janeiro, Ed. LTC 4ª Ed, 2002.

NETO, E. A. T. Biofertilizantes: Caracterização Química, Qualidade Sanitária e Eficiência em Diferentes Concentrações na Cultura da Alface. Curitiba, Dezembro/2006. Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ORRICO, A. C. A.; JÚNIOR, J. L.; ORRICO JÚNIOR, M. A. P. Caracterização e Biodigestão Anaeróbia dos Dejetos de Caprinos. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 639-647, set/dez 2007.

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. 2006. 152 p. Dissertação de Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo – PIPGE.

PIEROBON, L. R. P. Sistema de Geração de Energia de Baixo Custo utilizando Biogás Proveniente de Aterro Sanitário. 2007. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SANTOS, A. C. V. dos. Efeitos nutricionais e fitossanitários do biofertilizante líquido a nível de campo. Revista Brasileira de Fruticultura, v.13, n4, p. 275 – 279. 1991.

SANTOS, A. C. V. dos. Biofertilizante líquido, o defensivo da natureza. Niteroi: EMATER – Rio, 1992. 16 p. (Agropecuaria fluminense, 8).

SCHOENHALS, M.; FRARE, L. M.; SARMENTO, L. A. V. Análise do Desempenho de Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo no Tratamento de Efluentes da Suinocultura. Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal, v. 4, p. 005-023, jan/jun 2007.

SILVA, N.A. Manual de biodigestor: modelo chinês. 2.ed. Brasília: EMATER, 1983. 90 p. (Manual, 26).

SILVA, E. P. CAVALIERO, C. K. N. Perspectivas para as fontes renováveis de Energia no Brasil. 2006. Disponível em <<http://www.universiabrasil.net>> Acesso em: 12 jun. 2010.

SILVA, E. R., NAVARRO, L. L. N., ALMEIDA, S. C. A. Dimensionamento da Produção de Biogás a partir de resíduos residenciais, industriais e de matrizes suínas na Comunidade de Vila Paciência (RJ). Apresentado XII CBE - Congresso Brasileiro de Energia. Rio de Janeiro, Brasil, 2008.

SOUZA, J. L. de; RESENDE, P. Manual de Horticultura orgânica. Vicosa: Aprenda Facil, 2003. 564 p.

VANZIN, E.; PANDOLFO, A.; LUBLO, R.; STEFFENON, B.; PANDOLFO, L.M. Uso do Biogás em Aterro Sanitário como Fonte de Energia Alternativa. Aplicação de Procedimento para Análise da Viabilidade Econômica no Aterro Sanitário Metropolitano Santa Tecla. 2010. Disponível em <<http://www.fae.edu/publicacoes>> Acesso em 21 de jun. de 2010.

WINROCK INTERNATIONAL BRASIL. Manual de Treinamento em Biodigestão. 2008,v 2.0. Disponível em <<http://wp2.oktiva.com.br>> Acesso em 21 de jun. de 2010.