



UNIDADE DE ENSINO SUPERIOR DE FEIRA DE SANTANA

KELLY ARAGÃO DE MELO

**CONVERSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE BIOGÁS DE ETEs EM
REATORES UASB – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

FEIRA DE SANTANA

2020

KELLY ARAGÃO DE MELO

**CONVERSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE BIOGÁS DE ETE EM
REATORES UASB – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Química, da Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana – UNEF, como requisito avaliativo para a disciplina de TCC II.

Orientador: Ricardo de Oliveira Mota.

FEIRA DE SANTANA

2020

KELLY ARAGÃO DE MELO

**CONVERSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE BIOGÁS DE ETE EM
REATORES UASB – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Feira de Santana, 25 de Fevereiro de 2021

Banca Examinadora:

Prof.º Ricardo de Oliveira Mota

Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana

Orientador

Prof.^a Vanessa Gomes Matos

Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana

Examinadora

Prof.^a Fernanda Mansani Silva Gomes

Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana

Examinadora

RESUMO

Esse trabalho tem como objetivo principal apresentar através de uma revisão bibliográfica a captação do biogás no tratamento de efluentes para a produção de energia elétrica em reatores UASB. O biogás produzido nas estações de tratamento de efluentes, é altamente vantajoso para os dois processos, produção de energia e descontaminação dos dejetos. Esse processo é feito através de bactérias anaeróbica que usam biomassa “como alimento”, liberando o biogás como resíduo. Sendo uma nova alternativa de fonte de energia renovável, para a diminuição dos gases poluentes, com aproveitando do biogás que era desperdiçado e convertendo em uma nova fonte de energia. Ainda no Brasil essa fonte de energia não é muito utilizada, embora seu custo seja baixo.

Palavras-chave: Tratamento de efluentes, reatores UASB, Biogás.

ABSTRACT

This work has as main objective to present through a bibliographic review the capture of biogas in the treatment of effluents for the production of electric energy in UASB reactors. The biogas produced in the effluent treatment stations is highly advantageous for both processes, energy production and waste decontamination. This process is done through anaerobic bacteria that use biomass "as food", releasing biogas as waste. Being a new alternative source of renewable energy, for the reduction of polluting gases, taking advantage of the biogas that was wasted and converting it into a new source of energy. Even in Brazil, this energy source is not widely used, although its cost is low.

Keywords: Effluent treatment, UASB reactors, Biogas.

LISTA DE TABELA

Tabela 5.1: Emissões dos gases do efeito estufa no tratamento de resíduos	24
Tabela 5.2: Produções Teórica do Biogás	25
Tabela 5.3: Composição do Biogás	26
Tabela 5.4: Impurezas do biogás e impactos causados no processo do seu aproveitamento	26
Tabela 5.5: Poder Calorífico de alguns gases	27
Tabela 5.6: Tecnologias de Gerenciamento do Biogás	27
Tabela 5.7: Principais vantagens e desvantagens das tecnologias de conversão	28
Tabela 5.8: Vantagens e desvantagens do reator UASB	33
Tabela 5.9: Vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios	34
Tabela 5.10: Relações unitárias de produção de metano, biogás e de energia no reator UASB	35
Tabela 5.11: Comparação energética dos cenários 1 e 2	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Etapas do Tratamento de Efluentes	15
Figura 3.2: Formação do biogás no aterro sanitário	16
Figura 3.3: Funcionamento do Reator UABS	19
Figura 3.4: Fluxograma do Reator UASB	21
Figura 3.5: Gerador modelo GTA 250	23
Figura 5.1: Etapas da biodigestão anaeróbica	31
Figura 5.2: Diagrama do uso da energia elétrica proveniente do processo de secagem do lodo (Experimento 1)	36
Figura 5.3: Diagrama do uso da energia elétrica proveniente do processo de secagem do lodo (Experimento 2)	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo Geral	11
2.2 Objetivo Específico	11
3. REVISÃO DE LITERATURA	11
3.1 Efluentes	11
3.1.1 Tratamento de Efluentes	12
3.1.2 Níveis de tratamento	13
3.1.3 Tratamento anaeróbio	15
3.2 Biogás	15
3.2.1 Formação do biogás	16
3.2.2 Parâmetros que motivam a produção do biogás	17
3.2.3 Característica do biogás	18
3.2.4 Quantidade teórica de biogás produzido	18
3.3 Reator UASB	18
3.3.1 Características do reator	19
3.3.2 Desempenho dos reatores UASB	21
3.4 Energia Elétrica	21
3.4.1 Motores geradores de energia elétrica através do biogás	22
4. METODOLOGIA	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5.1 Tratamento do efluente na produção de biogás	24
5.2 Processo de biodigestão anaeróbica	30
5.2.1 Parâmetros importantes para a produção do biogás	31
5.3 Reator UASB	32
5.4 Alternativas para o aproveitamento energético	34
5.5 Eficiência energética	37
5.5.1 Comparação energética entre dois cenários acima	37
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS	40

1. INTRODUÇÃO

As novas fontes de energias renováveis têm uma grande importância não só pelos benefícios que traz ao meio ambiente, mas também no aspecto social e econômico. O uso das fontes alternativas de energia passou a ter um crescimento ininterrupto e, no mundo todo, vários programas e pesquisas começaram a ganhar espaço, mostrando a necessidade de se utilizar outros recursos geradores de eletricidade (MARTINEZ, 2013). A biomassa através de uma série de processos biotecnológicos pode auxiliar na produção por meio de combustíveis líquidos e gasosos que são potenciais fontes de energia.

O uso dos resíduos de esgoto, por exemplo, a partir da digestão anaeróbia e do tratamento do gás produzido geram o biogás (biometano) que pode ser então aproveitado para a geração de energia elétrica. O avanço da urbanização favoreceu o consumo predatório dos recursos naturais potencializado pela busca por novas fontes energéticas capazes de sustentar o estilo de vida emergente (CANCELLI, 2013). Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 42,7% de todo esgoto produzido em 2015 tiveram tratamento, representando um aumento de 1,9 pontos percentuais em relação ao ano anterior (GOMES et. al., 2017).

A biodigestão anaeróbia além de aprimorar a qualidade da vinhaça, com a redução do potencial de carga orgânica, a diminuição da temperatura, remoção de enxofre e redução de acidez, ainda por cima produz como produto principal o biogás (BALDACIN, 2015; ABREU et al, 2006).

O biogás é o gás produzido a partir da decomposição da matéria orgânica por bactérias. Na geração de energia do biogás, ocorre a conversão da energia química do gás em energia mecânica por meio de um processo controlado de combustão. Essa energia mecânica ativa um gerador que produz energia elétrica. Pode ser usado também a partir da sua queima em uma caldeira para sua produção de energia (CAMPELLO, 2015).

O aproveitamento do biogás, produzido nas estações de tratamento de esgoto, é altamente vantajoso para os dois processos, produção de energia e descontaminação dos dejetos. Esse processo é feito através de bactérias anaeróbica

que usam biomassa “como alimento”, liberando o biogás como resíduo. O biogás de reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico apresenta concentrações de metano (CH_4) de 70 a 80%, de nitrogênio (N_2) de 10 a 25% e de dióxido de carbono (CO_2) de 5 a 10%, sendo que os elevados teores de nitrogênio se devem a parcela de N_2 dissolvida no esgoto doméstico afluente aos reatores (ROSA et. al., 2016; CUTRIM, 2012; BALDACIN, 2015).

A viabilização do uso de biogás para produção de energia se dá devido à grande presença do gás metano (CH_4), para que esse seja utilizado como combustível, alguns fatores devem ser analisados como o tratamento do biogás a partir da remoção de sulfeto de hidrogênio (H_2S) e umidade, além do verdadeiro potencial de geração de energia que pode variar de acordo com a temperatura ambiente do biogás (faixa ideal 32 a 37°C), qualidade do esgoto sanitário (biodegradabilidade dos compostos orgânicos, presença de nitrogênio, enxofre, fósforo, pH entre 6,0 e 8,0) e quantidade de vapor de água e CO_2 (quanto maior a parcela de vapor de água e CO_2 , menor o poder calorífico).

A biodigestão anaeróbia são considerados conjuntos convencionais que são operados com uma baixa carga orgânica volumétrica e em sistemas com altas taxas que podem ser subdivididos em dois grandes grupos de acordo com o tipo de crescimento da biomassa no sistema, são eles: sistemas com crescimento aderido e sistemas com crescimento disperso (BALDACIN, 2015). No desenvolvimento do trabalho será abordado o sistema da lagoa anaeróbia, com um sistema de alta taxa de crescimento disperso o reator de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB).

Pelo conceito de produção limpa e renovável, e sendo uma alternativa para combater os impactos ambientais acarretados pela emissão de gases poluentes do efeito estufa e pelo descarte inapropriado de resíduos, tornando-se assim uma produção de baixo custo relacionados aos processos no tratamento de esgoto. Além de contribuir para o aproveitamento do biogás que é desperdiçado para converter em uma nova fonte de energia, como a energia elétrica.

Atualmente ainda existem poucos casos no Brasil de aplicação do potencial energético do biogás gerado em estações de tratamento de efluentes (ETEs). Além disso, os equipamentos de conversão utilizados, na maioria dos casos, são

importados. Não existem muitos fabricantes nacionais destes equipamentos, uma vez que a aplicação do potencial energético do biogás no Brasil é recente e os fabricantes nacionais existentes ainda produzem tecnologias em baixa escala e de pequeno porte.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Avaliar através de uma revisão bibliográfica a captação do biogás no tratamento de efluentes para a produção de energia elétrica em reatores UASB.

2.2 Objetivos Específicos

- Citar os parâmetros eficazes na produção do biogás;
- Mostrar o aproveitamento e a eficiência energética do biogás;
- Identificar a composição e os impactos causados pelo biogás;
- Descrever a biodigestão anaeróbica na produção do gás metano.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Efluentes

Rejeitos provenientes de processos industriais ou de consumo humano, que pode ser lançado de forma líquida ou gasosa no meio ambiente. Cada efluente dispõe de características diferentes, podendo obter várias substâncias com propriedades químicas ou orgânicas, seja ela para reuso, tóxicas, biodegradáveis, entre outros.

- Efluentes domésticos: Podendo ser chamado também de esgoto sanitário, são dejetos gerados por casas, edifícios e indústria, compondo 99% de água e 1% de sólidos orgânicos, inorgânicos e microrganismos. Os efluentes domésticos mesmo sendo menos poluente, mas se liberados ao meio ambiente sem o devido

cuidado podem acarretar sérios danos ao ecossistema e provocando assim consequências a vida humana. Tendo um teor muito elevado de material orgânico, onde carece de um destino adequado.

- Efluentes industriais: De acordo com a norma brasileira da ABNT – NBR 9800/1987, efluentes industriais são “despejos líquidos provenientes das áreas de processamento industrial, incluindo os originados nos processos de produção, as águas de lavagem de operação de limpeza e outras fontes, que comprovadamente apresentem poluição por produtos utilizados ou produzidos no estabelecimento industrial”. Os efluentes podem variar segundo as atividades e produção da empresa, sendo efluentes com substâncias químicas ou poluentes que podem ser tratados para a reutilização. A legislação tem se preocupado com o aumento das atividades industriais, sendo assim a alta produção de resíduos. Levando as empresas a desenvolverem etapas de tratamento antes dos mesmos serem descartados, evitando a contaminação de solos, rios, entre outros.

3.1.1 Tratamento de Efluentes

O tratamento de esgoto consiste na retirada de poluentes presente no mesmo e possui métodos variados dependendo das características físicas, químicas e biológicas do esgoto, dos custos de operação e de implantação, da sustentabilidade e da simplicidade do tratamento. O processo se inicia na rede coletora a qual tem como função levar o efluente até a Estação de Tratamento de Esgotos. O método mais utilizado é por lodos ativados, possuindo uma fase sólida e líquida em seu processo. Os efluentes não atendidos pela rede de coleta de esgotos, normalmente têm de utilizar soluções individuais de tratamento (JORDÃO e PESSOA, 2009).

Os métodos de tratamento são formados pelas operações unitárias, que tem o objetivo de remover todos os poluentes presentes nos efluentes. Os sólidos são removidos de acordo com o tratamento físico-químico e os sólidos grosseiros são removidos a partir de alguns meios, entre eles: peneiras, grades, flotadores e sedimentadores, podendo também ser usado o processo biológico para a remoção de matéria orgânica.

De modo a obter uma maior eficiência deve ser analisado os níveis de tratamento individualmente tendo em vista que é possível utilizar processos únicos ou em conjuntos para remoção de substâncias indesejáveis ou transformação em outras menos agressivas ao ambiente. Como mostra a **figura 3.1**:

3.1.2 Níveis de tratamento

- Preliminar: Tem como objetivo apenas a remoção de sólidos grosseiros, material sedimentável e flutuantes por meio de mecanismos de ordem física, através principalmente de grades e peneiras. O tratamento preliminar envolve os seguintes processos (GIORDANO, 2004):

- Grade (remove sólidos com diâmetros superiores a 10 mm);
- Caixas de areia (remove areia, terra diatomácea, pó de pedra e similares);
- Caixas de retenção de óleo e gordura;
- Peneiras (remove sólidos com diâmetros superiores a 1 mm).

- Tratamento primário: Objetiva a remoção parcial de matérias orgânicas em suspensão e de sólidos inorgânicos, por meio de processos simples como a sedimentação ou flotação, também é usado na coagulação e floculação para a clarificação físico-química na remoção de matéria orgânica, coloidal, óleos e gorduras. São removidos compostos tóxicos com excesso de detergentes, corantes, metais dissolvidos, entre outros. A Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é removido cerca de até 75% nessa etapa, necessitando de um pós-tratamento, enquanto os sólidos em suspensão têm a remoção quase toda removida. Essa etapa tem os seguintes processos:

- Decantação simples;
- Flotação;
- Neutralização;
- Reatores anaeróbios com baixa eficiência;
- Precipitação química com baixa eficiência.

- Tratamento secundário: Visa a remoção total de matérias orgânicas, os sólidos não sedimentáveis e nutrientes como nitrogênio e fósforo tem como base

processos biológicos em sua remoção. A remoção do DBO e os sólidos inorgânicos é quase todo, dependendo do sistema utilizado pode ser alta a eficiência de remoção.

São os seguintes processos:

- Lodos ativos;
- Filtros biológicos;
- Lagoas aeradas;
- Lagoas de estabilização;
- Reatores anaeróbios com alta eficiência;
- Precipitação química com alta eficiência.

• Tratamento terciário: É utilizado a fim de obter um efluente de alta qualidade ou remover outros poluentes (geralmente tóxicos) ainda contidos no efluente, uma melhor remoção de cor, turbidez, compostos orgânicos, metais pesados, entre outros e também alta desinfecção no efluente. Através de processos como:

- Osmose reversa;
- Filtros de areia;
- Remoção de nutrientes;
- Carvão ativado;
- Eletrodiálise;
- Patogênicos;
- Troca iônica;
- Oxidação química.

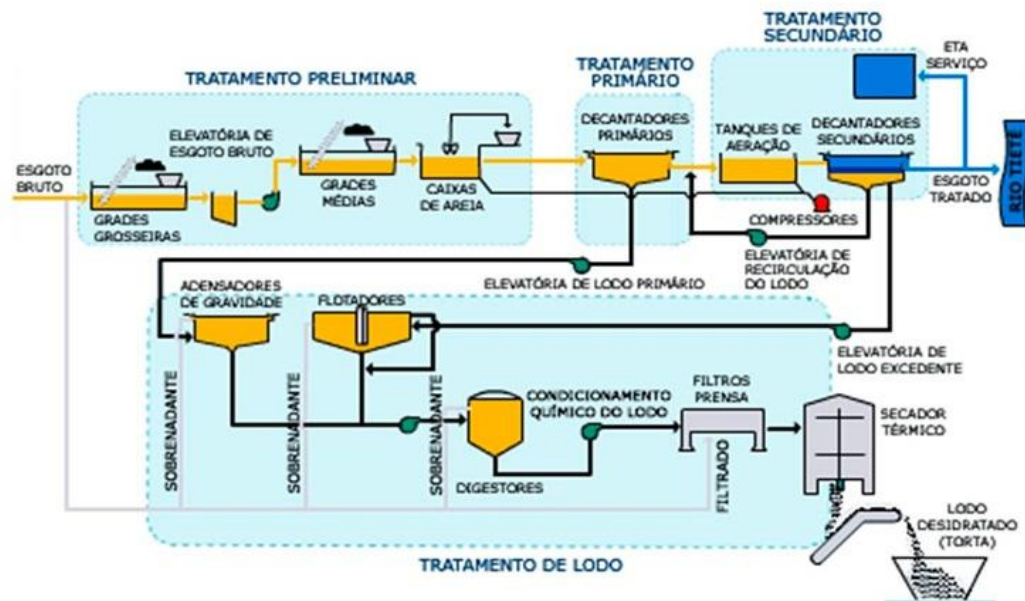


Figura 3.1: Etapas do Tratamento de Efluentes.

3.1.3 Tratamento anaeróbio

É um processo onde as bactérias convertem compostos orgânicos em biogás sem a presença de oxigênio. Os sistemas anaeróbios são encontrados em alta escala no país, dentre os sistemas de tratamento, existem os filtros anaeróbios, as lagoas anaeróbias, os tanques sépticos, e os reatores de alta taxa, particularmente os reatores de manta de lodo (reatores UASB) capazes de receber maiores quantidades de carga orgânica. Atualmente, quase todas as análises de alternativas de tratamento trazem o reator UASB como principal opção.

3.2 Biogás

O biogás é um combustível subproduto da decomposição anaeróbia (ausência de oxigênio) da matéria orgânica através de vários grupos microbianos, pode-se obter o gás a partir de resíduos agrícolas, dejetos de animais, resíduos industriais, esgoto, entre outros (GUTERRES, 2016). A produção de biogás depende de alguns fatores, como: temperatura, acidez (pH), inexistência de ar e nutrientes. Para que o biogás

possa ser aproveitado de forma otimizada, o metano gerado deve ser predominantemente equivalente a 70% ou mais do total de gases gerados no processo (MARQUES, 2014).

3.2.1 Formação do biogás

A digestão anaeróbia para produção do gás metano é um processo em que alguns tipos de bactérias, que desenvolvem na ausência de oxigênio, rompem a estrutura de materiais orgânicos complexos, a fim de produzir compostos simples, tais como, o metano e dióxido de carbono, deixando na solução aquosa subprodutos como: amônia, fosfato e sulfetos, retirando a energia e os compostos que são necessários para o seu próprio crescimento (ZILOTTI, 2012). Como mostra a **figura 3.2** abaixo:

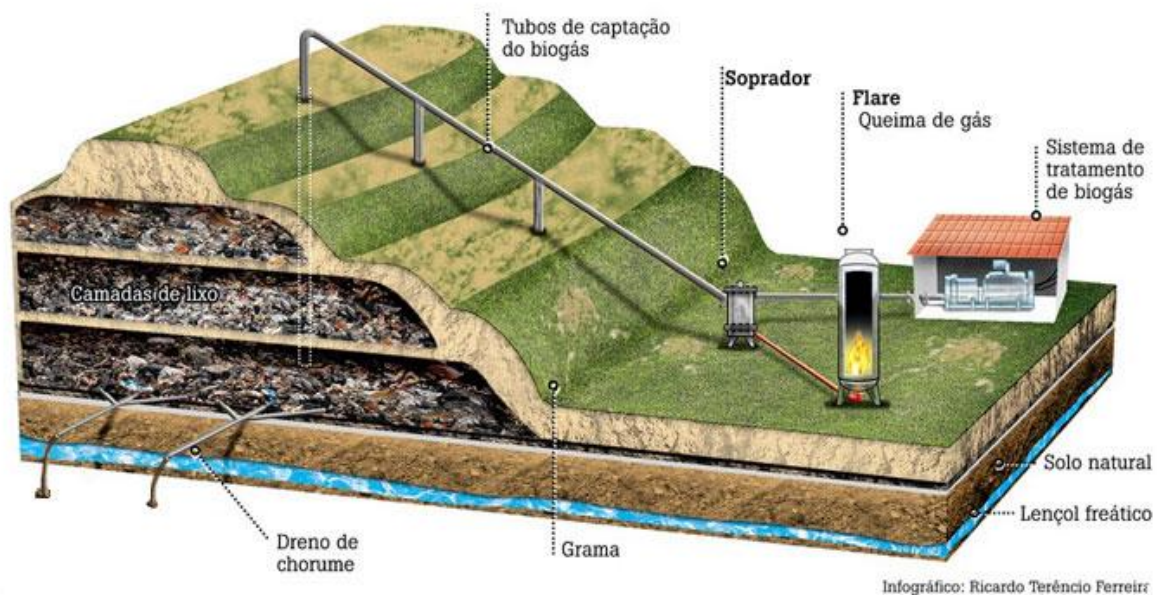


Figura 3.2: Formação do biogás no aterro sanitário.

Na modificação da matéria orgânica em diversas substâncias químicas, no percurso da fermentação anaeróbia, ocorrem através de uma cadeia de degradações sucessivas, devido aos distintos tipos de bactérias. Distinguem-se duas fases nos

processos de fermentação. A primeira fase é uma mudança das moléculas orgânicas em ácidos graxos, sais ou gás. A segunda é a mudança desses numa mistura gasosa, constituída por metano e dióxido de carbono.

3.2.2 Parâmetros que otimizam na produção do biogás

- Temperatura

A temperatura é um parâmetro importante na produção de biogás. As bactérias produtoras de metano são muito sensíveis a alterações de temperatura, essa produção pode ocorrer numa faixa entre 0° C e 97° C, tendo em vista que ocorre uma maior produção do gás metano quando a temperatura se encontra nas faixas de: 30 a 35 °C para mesófilas ou de 50 a 55 °C para termófilas. Mesmo sendo desejado altas temperaturas para obter um maior desenvolvimento da flora microbiana, é mais importante obter uma faixa de temperatura constante de modo que variações muito altas podem causar um desequilíbrio nas populações microbianas envolvidas.

- Acidez (pH)

O pH é muito importante para garantir o crescimento dos microrganismos de forma que mudanças do mesmo afetam sensivelmente as bactérias envolvidas. A faixa de pH é entre 6,0 e 8,0, visto que as bactérias produtoras de metano têm um bom crescimento na faixa de pH entre 6,6 e 7,4, próximo ao neutro o que impede a predominância de bactérias produtoras de ácidos as quais poderiam prejudicar todo o processo bioquímico provocando a queda da produção do biogás (METCALF e EDDY, 2003).

- Inexistência de ar

A presença de oxigênio (O₂) no sistema é letal para as bactérias anaeróbias de uma forma que este paralisa o metabolismo e faz com que elas deixem de se desenvolver.

- Nutrientes

Para o desenvolvimento das bactérias alguns nutrientes são muito importantes como o nitrogênio, alguns sais orgânicos e o carbono. Para que ocorra uma boa fermentação deve existir um equilíbrio entre esses nutrientes. Dentre outros nutrientes podemos destacar também o fósforo cuja sua ausência inibe a fermentação e o enxofre necessário para síntese de proteínas.

3.2.3 Característica do biogás

As características do biogás dependem de alguns fatores como temperatura, pressão, concentração do metano, concentração de outros gases inertes e/ou ácidos e umidade. Podendo ser usado nas condições em que é gerado e, dependendo da aplicação, deve ser necessário a redução da concentração de H_2S , CO_2 , na redução da umidade ou até mesmo a elevação da pressão. Em alguns termos o biogás é composto, por gás metano e gás carbônico, sendo outros gases como gás sulfídrico (H_2S), hidrogênio (H_2), e nitrogênio (N_2) presentes a baixas concentrações.

3.2.4 Quantidade teórica de biogás produzido

Com base em outros artigos deferidos sobre o biogás pode se estimar de forma teórica a quantidade de biogás produzido a partir do metano. A produção pode ser estimada a partir da estequiometria da digestão anaeróbia onde 1 mol de CH_4 requer 2 mols de oxigênio para completa oxidação gerando gás carbônico e água. Em suas pesquisas ele obteve como resultado teórico que a produção corresponde a 350ml de metano para cada grama de DQO (Demanda química de oxigênio) removida.

3.3 Reator UASB

O Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (UASB) tem apresentado um grande avanço tecnológico e de grande aceitação. Este reator é uma tecnologia de tratamento de efluente com base na decomposição de matérias orgânicas a partir de bactérias anaeróbias. A **figura 3.3** mostra o funcionamento do reator UASB.

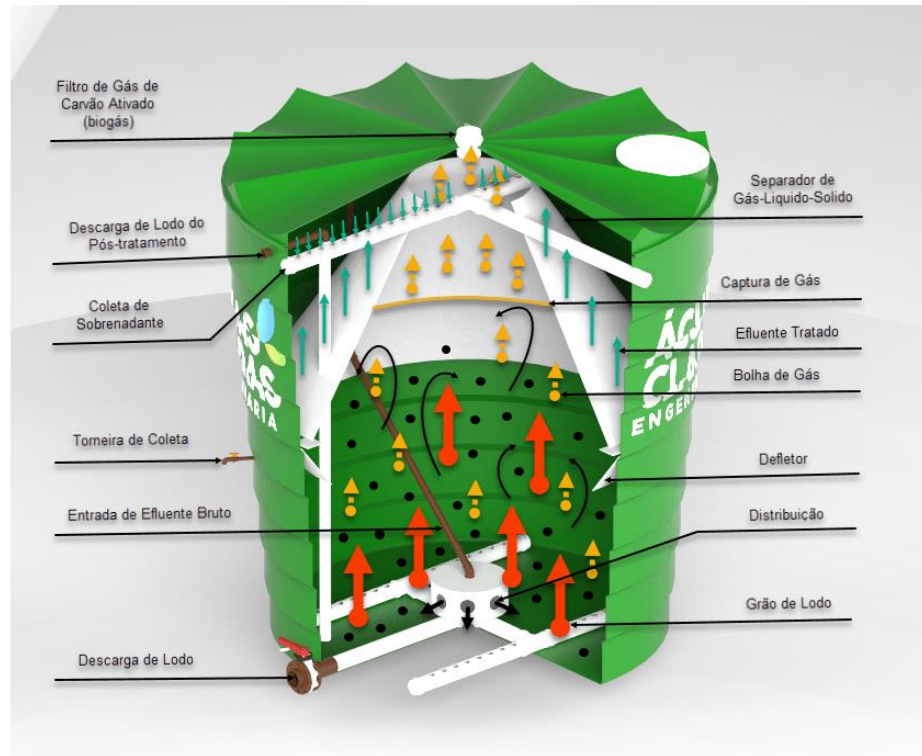


Figura 3.3: Funcionamento do Reator UASB.

3.3.1 Características do reator

O reator consiste em uma coluna de escoamento ascendente separados em uma zona de digestão, uma zona de sedimentação e um separador trifásico sólido/líquido/gás. O efluente é distribuído de modo uniforme no fundo do reator onde ocorre uma estabilização da matéria orgânica, este efluente segue uma trajetória ascendente, até a manta de lodo, onde ocorre a mistura, a biodegradação e a digestão anaeróbia do conteúdo orgânico, obtendo como subproduto gases como o sulfídrico, o carbônico e o metano (CESA, 2018). O efluente continua em fluxo ascendente até alcançar a zona de sedimentação (através de estruturas dos dispositivos de coleta de gases e de sedimentação), onde ocorre a decomposição de substrato orgânico. O gás gerado ao atingir um separador interno é encaminhado a saída no topo do reator, o líquido e o lodo disperso da manta do lodo são escoados a partir da abertura entre placas do separador trifásico, chegando a zona de decantação. O esgoto tratado deixa o sistema através de calhas coletoras situadas no topo do reator.

O tratamento de efluentes em reatores UASB na maioria das vezes apresenta uma camada de espuma na superfície do mesmo. Podendo reduzir a descarga de sólidos superficiais por meio de uns dispositivos eficientes para retenção da espuma. É provável que o retentor seja maior em operações com a detenção hidráulica com o tempo mais curto. Portanto, seria mais provável que flotassem o lodo em virtude da formação de bolhas e turbulências, devido a maior atividade do lodo (VERSIANI, 2005).

O reator anaeróbio de fluxo ascendente, por apresentar vantagens na junção de eficiência e por serem compactos, ganham importância para tratamento de efluentes com alta carga de matéria orgânica. Os funcionamentos necessários em reatores anaeróbios estão ligados as condições de ambientação para a manutenção do ecossistema presente. Dentre estes requisitos, destacam-se pH, alcalinidade e ácidos voláteis, que estão diretamente relacionados entre o mesmo, além da possibilidade de inibição das atividades microbianas relacionadas a materiais tóxicos presentes nos substratos utilizados (AMORIM et al, 2015; ABREU et al, 2006).

O Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA ou UASB) é uma tecnologia de tratamento biológico de esgotos baseada na decomposição anaeróbia da matéria orgânica. Um biodigestor que consiste principalmente de um tanque no fundo do qual se localiza o sistema biodigestor propriamente dito e, na parte superior, existe um sedimentador precedido de um método para a separação do gás. O resíduo líquido a ser tratado é repartido, uniformemente, no fundo do reator e passa por meio de uma camada biológica de lodo, que transforma o material orgânico, gerando o biogás (ABREU et al, 2006).

Baseia-se no princípio de separação das três fases sólidas, líquida e gás, formando com que o lodo se acumule e mantenha-se no tanque de tratamento, com um tempo de residência celular suficiente para que seja superior aos tempos de residência hidráulica. O reator é de uma alta taxa digestora, com sistemas compactos e são adequados para a recuperação do gás metano. A **figura** abaixo mostra o fluxograma do funcionamento do reator UASB.

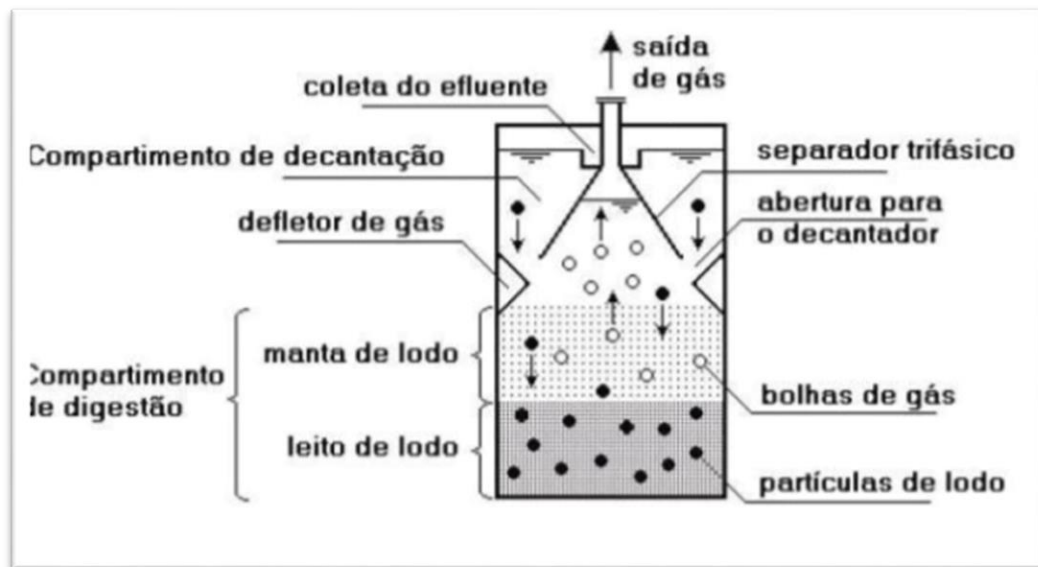


Figura 3.4: Fluxograma do Reator UASB.

3.3.2 Desempenho dos reatores UASB

Diversos experimentos têm sido realizados em países em desenvolvimento com reatores UASB. Segundo Gaspar (2003) o desenvolvimento de reatores UASB foram iniciados no Brasil em 1980. Instituições de pesquisa, companhias de saneamento e universidades tem desenvolvido esta tecnologia.

A Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) mantém aproximadamente 105 reatores anaeróbios, um dos 105 reatores anaeróbios é um reator UASB de 16.000 m^3 e atende uma população de 115 mil habitantes.

Um reator UASB em Cali na Colômbia, com capacidade de 64 m^3 , foi operado recebendo efluentes sanitários da cidade de Cali durante 1983 e 1987, a remoção de DQO foi de 71% e de SST de 70% para um TDH de 5.

3.4 Energia Elétrica

O Brasil é ainda um país com pouco aproveitamento energético proveniente do biogás, através dos aterros sanitários e das estações de tratamento de efluentes domésticos e industriais. Segundo Rosa et. al. (2016), a produção de energia elétrica em ETEs associa-se ao fato de que toda a energia que é gerada no local pode ser consumida para o uso próprio, sem uma mediação para as redes de distribuições.

Para Rosa et. al. (2016), as vantagens na produção de energia elétrica a partir do biogás são:

- Fonte consumidora;
- Lucro adicional e a comercialização de energia elétrica;
- Redução no consumo de eletricidade externamente;
- Potencial de uso no processo de cogeração de energia e calor;
- Redução das emissões do gás metano.

Há preocupações na demanda de energia no tratamento de esgotos tendo em vista os padrões de qualidade no final, o aumento dos custos e a diminuição do consumo de combustíveis fósseis. Sendo assim, o objetivo é potencializar a eficiência para geração de energia e diminuir os gastos no tratamento dos efluentes.

3.4.1 Motores geradores de energia elétrica através do biogás

Os motores geradores de biogás obtêm uma potência de 1,6 MW, no qual possuem uma forma de sistema de resfriamento contendo água quente e gases de exaustão podendo ser usados como trocadores de calor para aquecer os efluentes, sendo utilizado no processo produtivo, enquanto a água fria ajuda o sistema de refrigeração do modo por absorção (SOUZA, 2016). Aproveitando o aumento da energia térmica no sistema com grande eficiência.

Esses motores são utilizados em zonas rurais para a utilização do biogás oriundo das biomassas vegetais ou até mesmo dos resíduos de animais, enquanto as áreas urbanas utilizam o biogás dos aterros sanitários e dos sistemas de tratamento dos efluentes domésticos e industriais.

A **figura 3.5** mostra os elementos principais de um gerador de energia elétrica.

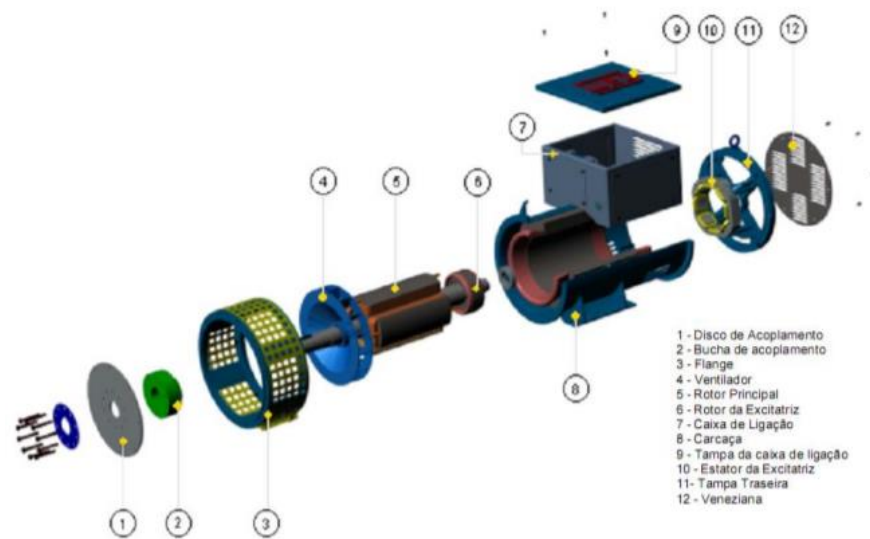


Figura 3.5: Gerador modelo GTA 250.

4 METODOLOGIA

Foram abordados todos os pontos metodológicos da pesquisa feita, demonstrando-se os métodos para melhor apresentar a captação do biogás no tratamento de efluentes para a produção de energia elétrica em reatores UASB, e os objetivos específicos dispostos no trabalho desenvolvido. Coletando dados com uma abordagem qualitativa, como já diz o nome, visa colher dados dispostos a conhecer. A pesquisa qualitativa tenta entender alguns fatos comportamentais por meios de dados narrativos e estudos individuais de cada um.

Esse trabalho tem como intuito produzir uma pesquisa aplicada, visto que seja utilizado conhecimento da pesquisa de natureza básica para desenvolvê-lo. Para uma melhor análise dos objetivos, foi constatado que se trata de uma pesquisa exploratória e descritiva. Identificou-se também a necessidade de uma revisão bibliográfica utilizando os materiais mais elaborados como artigos científicos, revistas e documentos.

Foram feitas pesquisas em artigos científicos, da área de tratamento de efluentes para geração de energia elétrica, com datas de publicação de 2003 a

2018. Auxiliando na separação dos métodos mais satisfatórios para a realização do trabalho, desse modo consegui alcançar os objetivos e o conhecimento dos fatores, assegurando uma veracidade da pesquisa.

O levantamento bibliográfico determina uma procura de soluções para a finalidade do conteúdo. O problema está relacionado ao estudo na área da engenharia, a fim de mostrar uma nova forma de aproveitar o biogás que era desperdiçado para uma fonte de energia, através do tratamento dos efluentes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Tratamento do efluente na produção de biogás

As emissões do dióxido de carbono proveniente do tratamento de efluente, existe duas principais unidades de tratamento biológico: tratamento aeróbio e tratamento anaeróbio. Independentemente do tipo de método utilizado, as reações bioquímicas serão parecidas, com o composto de carbono que são oxidados e a formação do dióxido de carbono e/ou o metano e água. Apesar do lixo ter um papel importante na emissão desses gases, o esgoto doméstico também tem seu papel nessas emissões. Podemos ver na **tabela** a seguir:

Tabela 5.1: Emissões dos gases do efeito estufa no tratamento de resíduos

Setor	1990	1995	2000	2005	2010
	Gg. $CO_{2eq.}$				
Tratamento de resíduos	28.939	33.808	38.550	41.880	48.737
Lixo	16.723	19.667	22.703	24.735	29.336
Esgoto	12.216	14.141	15.847	17.145	19.401
Esgoto industrial	1.993	3.331	3.984	4.313	5.779
Esgoto doméstico	10.223	10.810	11.864	12.831	13.622

Fonte: MARQUES, 2014.

Os autores Marques (2014), Borges et. al. (2016) e Faria (2012) observaram que teve uma crescente atenção ao meio ambiente com as emissões de gases proveniente das ETEs e visando uma oportunidade de uma nova fonte de energia limpa renovável, pela utilização do biogás, a partir de análise viável técnica e econômica do seu uso energético.

Segundo Mendes (2017) foi observado que o aproveitamento de biogás pode reduzir a emissão total de metano (CH_4) de $1.290,2 \text{ kgCH}_4.\text{dia}^{-1}$ para $180,8 \text{ kgCH}_4.\text{dia}^{-1}$ na ETE, logo, a emissão evitada de metano resulta em $1.109,4 \text{ kgCH}_4.\text{dia}^{-1}$. Esse resultado mostrou que a redução na utilização da energia proveniente da concessionária de energia elétrica e consequentemente numa estimativa de redução de despesa com energia elétrica mensal na estação de tratamento de aproximadamente R\$ 26.838,00.

A produção de biogás na teoria por quilograma de DBO do afluente total removida. O desvio padrão que indica o quanto, os dados se desviaram em relação ao valor médio. Já os valores abaixo do desvio padrão indicam uma boa precisão nos valores obtidos. A produção de biogás teórico por volume de reator demonstrou um valor médio de $46,21 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1} \text{ DBO}_5.\text{m}^{-3}$ no reator (PRADO, 2008). Pode ser visto no **quadro** abaixo:

Tabela 5.2: Produções Teórica do Biogás

	$(\text{m}^3.\text{kg}^{-1} \text{ DBO}_5.\text{m}^{-3})$
Média	0,580
Mínimo	0,545
Máximo	0,602
Desvio Padrão (S)	0,02

Fonte: PRADO, 2008.

O biogás é composto por alguns gases, sendo eles: gás metano e gás carbono como principais componentes, sendo os outros gases como hidrogênio, nitrogênio e gás sulfídrico que estão presentes nas concentrações, como mostra na **tabela** abaixo, os valores médios obtidos com a análise do biogás, de acordo com Zilotti (2012), Faria (2012) e Lima (2012):

Tabela 5.3: Composição do Biogás

Gás	Símbolo	Concentração do Biogás (%)
Metano	CH_4	40 – 75
Dióxido de Carbono	CO_2	25 – 40
Hidrogênio	H_2	1 – 3
Nitrogênio	N_2	0,5 – 2,5
Oxigênio	O_2	0,1 – 1
Ácido Sulfídrico	H_2S	0,1 – 0,5
Amônia	NH_3	0,1 – 0,5
Monóxido de Carbono	CO	0 – 0,1

Fonte: ZILOTTI, 2012; FARIA, 2012; LIMA, 2012.

A produção de biogás oriundo do digestor anaeróbio está relacionada a alimentação do lodo bruto. O poder calorífico e a composição do biogás podem alterar devido as características da matéria orgânica que será produzido. O poder calorífico do biogás é referente a concentração do metano, que é a principal componente do biogás.

Os componentes que compõem o biogás podem causar alguns problemas no funcionamento dos elementos, que são aproveitamento energético, assim como no armazenamento. A **tabela** abaixo mostra como cada impureza pode afetar o funcionamento do aproveitamento do biogás.

Tabela 5.4: Impurezas do biogás e impactos causados no processo do seu aproveitamento.

Impureza	Possíveis impactos
Água	Corrosão, condensação, acumulação nos condutos
Poeira	Entupimento
H_2S	Corrosão, toxicidade
CO_2	Baixo poder calorífico

Siloxanos	Abrasão dos componentes devido à formação de SiO_2
Hidrocarbonetos	Corrosão em motores
NH_3	Corrosão quando dissolvida em água
O_2	Possível explosão
Cl^-	Corrosão
F^-	Corrosão

Fonte: BORGES, 2016.

De acordo com Marques (2014) o biogás que tem 65% de metano o seu poder calorífico, bem menor que alguns outros gases comerciais. Porém, seu uso é bem vantajoso e pode ter muitos afins como: geração de energia térmica, geração de energia elétrica, até mesmo as duas energias juntas (cogeração) e o aproveitamento como combustíveis para outras estações (**Tabela 5**).

Tabela 5.5: Poder Calorífico de alguns gases

Gás	Poder Calorífico (kJ/m^3)
Propano Comercial	45.800
Butano Comercial	44.600
Gás Natural	37.300
Metano	35.800
Gás de Digestão	22.400

Fonte: MARQUES, 2014.

As tecnologias podem ser usadas para gerenciar ou para aproveitar o seu conteúdo energético do biogás. A **tabela** a seguir traz as tecnologias de gerenciamento do biogás (BORGES et. al., 2016).

Tabela 5.6: Tecnologias de Gerenciamento do Biogás

Combustão direta, sem recuperação de energia.	- Queimadores abertos - Queimadores fechados
---	---

Combustão direta, com geração de calor.	- Caldeiras - Secadores térmicos
Geração combinada ou simples de eletricidade e calor.	- Motores de combustão interna - Turbinas - Microturbinas

Fonte: BORGES et. al., 2016.

Segundo Lima (2012), analisou as tecnologias de forma a determinar a mais viável economicamente, além disto, as vantagens e desvantagens do emprego da tecnologia de conversão. Destacando-se fatores como a potência, rendimento do equipamento, emissões de NOx, tempo de vida, necessidade de combustível adicional e exigências de operação dos equipamentos (**Tabela 5.7**).

Tabela 5.7: Principais vantagens e desvantagens das tecnologias de conversão.

	Vantagens	Desvantagens
Microturbina	- Menor taxa de emissão de NOx; - Simplicidade de projeto; - Fácil instalação e manuseio; - Baixo custo de manutenção.	- Alto custo de instalação; - Baixo tempo de vida útil.
	- Elevada fiabilidade; - Rápido arranque; - Disponibiliza energia térmica a temperaturas elevadas (500- 600°C);	-Exigência de elevada pressão no gás combustível admitido ou de um compressor; - Redução da eficiência a cargas baixas;

Turbina a gás	- Emissão reduzida de poluentes atmosféricos; - Não necessita de refrigeração; - Unidades compactas.	- Sensibilidade do desempenho face ao aumento da temperatura ambiente; - Necessidade de manutenções periódicas.
Motores Diesel: Biogás + Diesel	-Maior eficiência na queima de biogás (por serem projetados para queimar óleo diesel, enquanto queimam biogás); -Máquinas mais simples e robustas.	-Necessidade de abastecimento periódico de diesel; - Necessidade de manutenção; -Problemas relacionados à combustão do diesel e à emissão de poluentes.
Motores Ciclo Otto	- Arranque rápido; - Fácil adaptação a variações das necessidades térmicas; - Elevada eficiência mecânica; - Bom rendimento em regime de carga variável; - Custos de investimento relativamente baixos.	- Tempo de vida útil curto para sistemas de baixas potências; - Baixo rendimento térmico; - Custos de manutenção elevados, exigindo paragens frequentes; - Necessidade de refrigeração; - Emissão de níveis de ruído elevados a baixas frequências.

Fonte: LIMA, 2012.

O aproveitamento energético do biogás, e a contribuição com a preservação ambiental, traz grandes benefícios para as pessoas em volta, pois proporciona o reaproveitamento de descartáveis e baixo custo, colaborando com a independência

da fonte de energia e oferecendo variedade de combustíveis, possibilitando a geração e o aumento da oferta de energia, gerando empregos, reduzindo as emissões de poluentes e diminuindo as toxinas no ar, odores, aumentando o saneamento básico do país, permitindo o desenvolvimento de empresas sanitárias e energéticas (ZILOTTI, 2012).

A utilização do tratamento do efluente doméstico tem uma maior vantagem do que o efluente industrial, por conta da quantidade de carga orgânica, se tratando do esgoto doméstico que tem uma concentração de metano de 70 a 80% e o tratamento industrial que tem de 60 a 70%, devido as reações químicas proveniente do processo digestivo anaeróbico e pelo processo de decomposição.

5.2 Processo de Biodigestão Anaeróbica

O processo de biodigestão anaeróbia acontece a partir da degradação ou decomposição da biomassa, feita através dos microorganismos. Poucos produtos sintéticos são capazes de serem digeridos, os que são conhecidos como biodegradáveis (CREMONEZ et. al., 2013). A biodigestão realiza-se em quatro etapas diferentes: hidrólise; acidogênese; acetogênese; e metanogênese. Como mostra a **figura 5.1**.

A primeira etapa é a hidrólise onde acontece a quebra das cadeias carbônicas de proteínas, carboidratos e lipídios para um composto mais simples como aminoácidos, ácidos graxos e glicerol (CREMONEZ et. al., 2013).

Na segunda etapa está a acidogênese, nessa fase causa uma conversão dos produtos produzidos no processo da hidrólise em ácido acético, ácido graxos, dióxido de carbono e outros compostos e são consumidos pelas células das bactérias fermentadas (CREMONEZ et. al., 2013).

A penúltima etapa é a acetanogênese, nela ocorre uma transformação nos ácidos graxos em ácidos acéticos, liberando o H_2 e CO_2 . Nela também, possui os substratos para a formação do gás metano (CREMONEZ et. al., 2013).

A quarta e último estágio é a metanogênese, refere-se a formação do gás metano dividido em dois grupos de bactérias, um produzindo metano pela

transformação do ácido acético (bactéria acetotrófica) e o outro pela produção de H_2 e CO_2 (bactéria hidrogenotrófica) (CREMONEZ et. al., 2013).

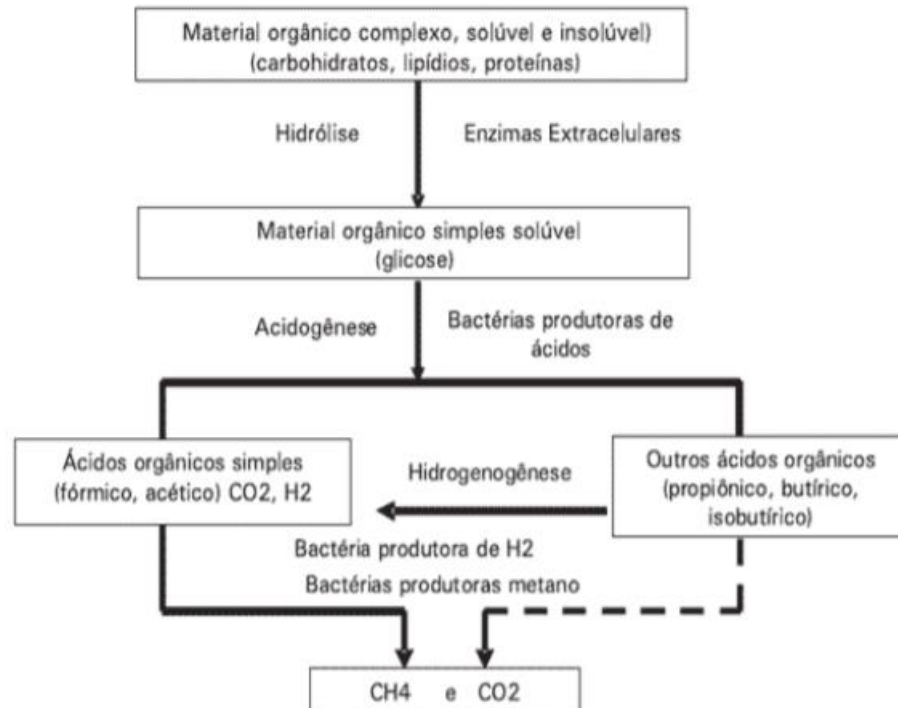


Figura 5.1: Etapas da biodigestão anaeróbica.

5.2.1 Parâmetros importantes para a produção do biogás

A temperatura é um fator decisivo no processo do biodigestor, atuando no processo de degradação biológica, biofertilizantes e para o volume de produção do gás. Encontra-se uma faixa de temperatura relacionada ao crescimento microbiano e a eficiência do processo. Quando ocorre variação de temperatura no processo, o problema aumenta podendo afetar gravemente o processo acarretando até mesmo um colapso.

Os grupos de bactérias que sofrem com o intervalo de temperatura, podendo causar uma alta porcentagem dos ácidos voláteis a partir das baixas temperaturas e por consequência sofre uma queda de pH. Já se ocorrer o aumento da temperatura, a velocidade das reações biológicas é muito maior, tornando uma operação mais eficiente e em um menor tempo de retenção hidráulica. Ao longo das pesquisas foi

feita uma média das temperaturas utilizadas no determinado equipamento e com a mesma finalidade.

A presença de nutrientes e organismos patogênicos, os micronutrientes, são essenciais para os processos biológicos aeróbios e anaeróbios. Os mais comuns são o nitrogênio e o fósforo, com a presença deles podem causar um crescimento excessivo de algas e bactérias. O enxofre também apresenta uma parte importante, mas necessita de uma síntese de proteína. Além de alguns nutrientes como enxofre, fósforo e nitrogênio, junto com o carbono e oxigênio, formam as macromoléculas. Os micronutrientes são requeridos pelas bactérias que assim formam o metano a partir do acetato (LIMA, 2012).

Já o autor Cardoso (2016) observou-se que o pH médio se estabilizou em $7,09 \pm 0,24$ na entrada do reator (afluente), e $7,18 \pm 0,17$ na saída (efluente). Estes valores apresentaram um bom tamponamento do sistema, o que favoreceu positivamente para o desenvolvimento das bactérias. A digestão anaeróbia depende fortemente da temperatura, pois influencia a seleção das espécies que não possuem meios de controlar a temperatura interna, encontrando assim três faixas de temperatura (0 a 20°C), (20 a 45°C) e (45 a 70°C).

A impermeabilidade do ar necessita das arqueas metanogênicas para a produção de metano e dióxido de carbono, são obrigatoriamente anaeróbias, são encontradas na ausência de oxigênio e quando há muita matéria orgânica. Sendo assim, a decomposição do material orgânico causa a produção do dióxido de carbono (LIMA, 2012; ZILOTTI, 2012).

A temperatura tem uma influência muito importante no processo enzimático das bactérias que formam o metano, as enzimas se tiver muito calor são destruídas, com isso a faixa ideal para a produção do biogás é 32 a 37°C para as bactérias mesofílicas e para as bactérias termofílicas de 50 a 60°C. Enquanto, a faixa de pH será ótima, caso se o pH se manter próximo da neutralização, não afetando a eficiência da geração do gás.

5.3 Reator UASB.

As etapas de tratamento biológico, como sistemas anaeróbios, encontram uma alta aplicabilidade no Brasil. As suas características favoráveis são aliadas as condições ambientais contribuindo com a colocação do sistema de tratamento de efluentes com detalhes, os reatores de manta de lodo (UASB). Todas as análises de alternativas de tratamento incluindo o mesmo reator como principal opção.

Tabela 5.8: Vantagens e desvantagens do reator UASB.

Vantagens	Desvantagens
- Satisfatória eficiência na remoção de DBO; - Baixos requisitos de área; - Baixos custos de implantação e operação; - Reduzido consumo de energia; - Não necessita de meio suporte; - Construção, operação, manutenção simples; - Baixíssima produção de lodo; - Estabilização do lodo no próprio reator; - Necessidade apenas da secagem e disposição final do lodo; - Rápido reinício após períodos de paralisação; - Remoção de 70% da matéria orgânica.	- Dificuldade em satisfazer padrões de lançamento bem restritivos; - Possibilidade de efluentes com aspecto desagradável; - Remoção de nitrogênio e fósforo insatisfatória; - Possibilidade de maus odores; - A partida do processo é geralmente lenta; - Relativamente sensível a variações de carga; - Usualmente necessita de pós-tratamento.

Fonte: LIMA, 2012 e BORGES, 2016.

Em alguns sistemas anaeróbios podem ser utilizados como a primeira etapa de tratamento, por apresentarem uma dificuldade em gerar um efluente que se enquadre na legislação ambiental, seguido de um pós-tratamento para se adequar. Os tratamentos anaeróbios são possíveis e uma boa opção para uma alta remoção da matéria orgânica, por sua melhor qualidade, menores volumes de lodo, menor custo de energia, simplicidade na hora da operação e menos equipamentos (LIMA, 2012).

Tabela 5.9: Vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios

Vantagens	Desvantagens
- Baixa produção de sólido, cerca de 5 a 10 vezes inferior à que ocorre nos processos aeróbios; - Baixo consumo de energia, usualmente associado a uma elevatória de chegada. Isso faz com que os sistemas tenham custos operacionais muito baixos; - Baixa demanda de área; - Baixos custos de implantação da ordem de R\$ 20 a 40 per capita; - Produção de metano, um gás combustível de elevado teor calorífico; - Possibilidade de preservação de biomassa sem alimentação do reator, por vários meses; - Tolerância a elevadas cargas orgânicas; - Aplicabilidade em pequena e grande escala; - Baixo consumo de nutrientes.	- As bactérias anaeróbias são susceptíveis a inibição por grande número de compostos; - A partida do processo pode ser lenta, na ausência de lodo de semeadura adaptado; - Algumas formas de pós-tratamento são usualmente necessárias; - A bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexos e ainda precisam ser estudadas; - Possibilidade de geração de maus odores, porém controláveis; - Possibilidade de geração de efluente com aspecto desagradável; - Remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos insatisfatória.

Fonte: LIMA, 2012.

5.4 Alternativas para o aproveitamento energético

De acordo com Rosa et. al. (2016) e Gomes et. al. (2017) foi feito um levantamento de dados referente a vazão, o DQO do efluente e a composição do biogás gerado no reator UABS, sendo monitorado durante um ano, entre 2010 a 2011.

Durante esse controle de dados, foram medidas a produção de metano, do biogás e de energia no determinado tempo dito acima, podendo proporcionar um apoio monetário para alternativas viáveis para o fornecimento de energia através do biogás. A **tabela** abaixo mostra as relações unitárias esperada pelo modelo.

Tabela 5.10: Relações unitárias de produção de metano, biogás e de energia no reator UASB.

Relações Unitárias	Unidades	Valores	
		Medidos	Simulados
Volume de metano por volume de esgoto tratado	$m^3 \cdot CH_4 \cdot m^3 \text{ esgoto tratado}^{-1}$	0,06	0,07-0,14
Volume de metano por DQO removida	$m^3 \cdot CH_4 \cdot kg \text{ DQO}_{removido}^{-1}$	0,17	0,11-0,19
Volume de biogás por volume de esgoto tratado	$m^3 \text{ biogás} \cdot m^3 \text{ esgoto}_{tratado}^{-1}$	0,07	0,06-0,10
Volume de biogás por DQO removida	$m^3 \text{ biogás} \cdot kg \text{ DQO}_{removido}^{-1}$	0,21	0,16-0,24
Potencial de produção de energia por volume esgoto tratado	$MJ \cdot m^3 \text{ esgoto}_{tratado}^{-1}$	2,0	1,5-2,9
Potencial de produção de energia por DQO removida	$MJ \cdot kg \text{ DQO}_{removido}^{-1}$	0,6	4,1-7,0
Potencial de produção de energia por volume de biogás produzido	$MJ \cdot m^3 \text{ biogás}^{-1}$	28,1	25,1-28,7

Fonte: ROSA et. al., 2016

Os autores desenvolveram dois cenários para o aproveitamento energético do biogás e do lodo. No primeiro cenário, ele promoveu a secagem térmica do lodo usando o biogás como fonte de calor, seguindo de uma geração de energia, observando o método de evaporação que teve uma demanda de 61,5% da vazão do

biogás proveniente da ETE, empregando 38,5% na geração de energia elétrica. Já no segundo cenário a produção de eletricidade na estação de tratamento gerado no reator UASB, empregado na secagem do lodo que foi desidratado com o calor dos gases de exaustão. Segundo os autores, sendo capaz de gerar 3.289 MJ.d^{-1} de energia, equivale ao fornecimento de 57,6% da demanda na estação de tratamento.

O primeiro cenário emprega o biogás na secagem do lodo até alcançar uma porcentagem de umidade no final equivalente a 10%, usando a geração de energia elétrica em motores de combustão interna. Já no segundo cenário foi utilizado o biogás para gerar eletricidade em motor, usando a secagem máxima do lodo. Comparando os dois cenários, como mostra as **figuras** abaixo, podemos dizer que o experimento 1 ressalta a eliminação do lodo para os aterros sanitários, enquanto o experimento 2 mostra um alto potencial para a geração de energia na ETE.

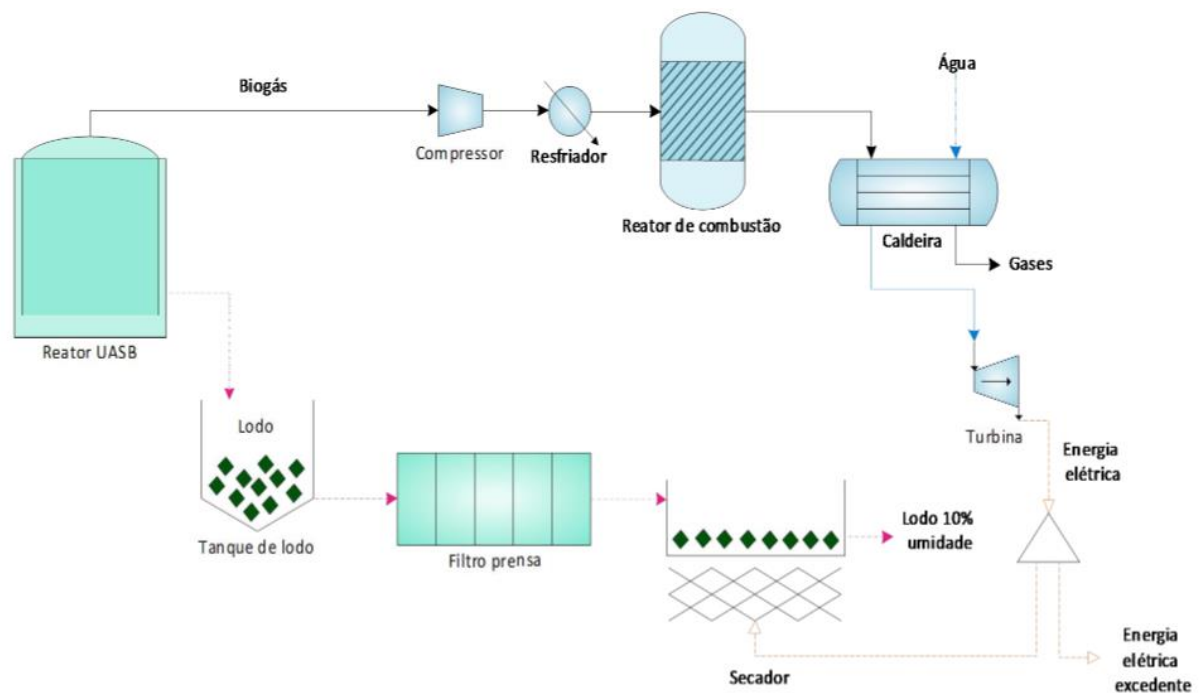


Figura 5.2: Diagrama do uso da energia elétrica proveniente do processo de secagem do lodo (Experimento 1).

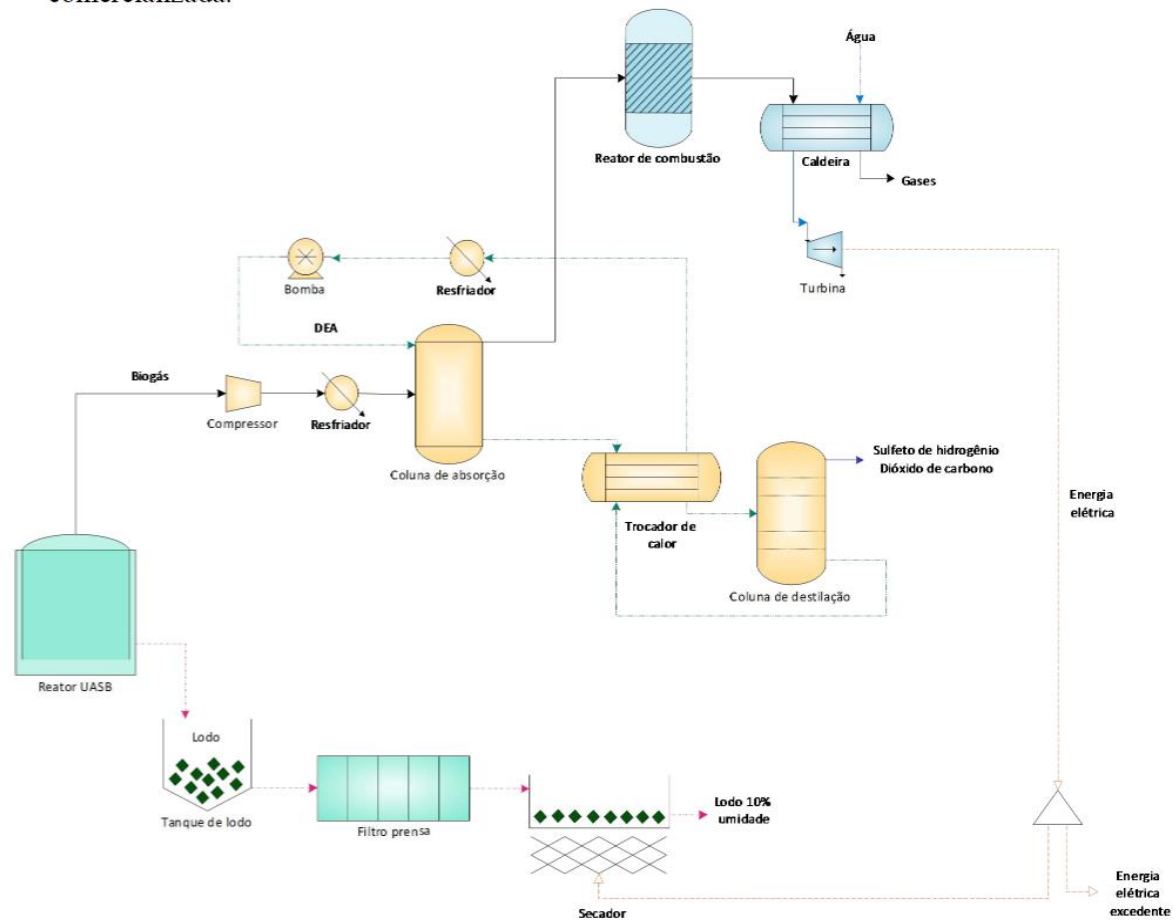


Figura 5.3: Diagrama do uso da energia elétrica proveniente do processo de secagem do lodo (Experimento 2).

5.5 Eficiência Energética

Como foi citado no tópico acima os artigos de Rosa et. al. (2016) e Gomes et. al. (2017), foram monitorados o consumo energético de uma ETE na fábrica da Laboreaux, durante um tempo de um ano, 2010 a 2011. Os dados que serão mostrados são todos dos artigos estudados.

5.5.1 Comparação energética entre os dois cenários acima.

A tabela abaixo mostra os percentuais energéticos nos dois cenários, considerando os gastos da demanda de energia diária da estação de tratamento e os gastos nos processos de purificação como bombas e compressores. O primeiro cenário se realçou mais do que o outro cenário, pois apresentou 88% de energia maior que a segunda análise. O experimento 1 tem a capacidade de fornecer, 12 vezes a

demanda energética na estação de tratamento diário, enquanto o experimento 2 é capaz de completar por uma única vez.

Tabela 5.11: Comparação energética dos cenários 1 e 2.

	Experimento 1		Experimento 2	
	Valores	Percentual energético (%)	Valores	Percentual energético (%)
Energia útil total (MJ.dia ⁻¹)	78.168	-	14.602	-
Energia demandada pela ETE (MJ.dia ⁻¹)	5.709	7	5.709	39
Energia elétrica excedente (MJ.dia ⁻¹)	72.459	93	8.893	61

Fonte: ROSA et. al. (2016); GOMES et. al. (2017).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho teve como objetivo principal apresentar através de uma revisão bibliográfica a captação do biogás no tratamento de efluentes para a produção de energia elétrica em reatores UASB. Para isto foi fundamental entender as características qualitativas do biogás e sua eficiência energética. Foram necessários levantamentos e pesquisas já utilizadas para auxiliar nos objetivos trabalhados.

Observou-se um bom resultado de 1.109,4 kgCH₄. dia⁻¹ para a redução das emissões de metano, sendo utilizado para energia elétrica, reduzindo assim uma despesa mensal de energia de aproximadamente R\$ 26.838,00 para a empresa.

Verificou-se que o processo digestivo anaeróbico em reatores UASB, reator mais utilizado e melhor opção para esse tipo de processo, é uma boa alternativa para o destino da queima do gás metano sendo aproveitado para uma nova fonte de energia.

O aproveitamento energético através do biogás é uma nova tecnologia para não ser dependente de combustíveis fósseis, trazendo grandes benefícios não só pela preservação ambiental, mas por gerar empregos, diminuindo toxinas no ar, melhorando o saneamento básico, aumentando a oferta de energia e desenvolvendo empresas.

Apesar do Brasil não usar o aproveitamento do biogás, espera-se mais investimentos nessa área e incentivos para que assim possa acabar com as barreiras da tecnologia e econômica, tornando o biogás mais favorável para o Brasil nos próximos anos.

REFERÊNCIAS

- ABNT – NBR 9800/1987. **Critérios para Lançamento de Efluentes Líquidos Industriais no Sistema Coletor Público de Esgoto Sanitário** – Procedimento. Saneamento Básico. 1987.
- ABREU, F. C. et al; **Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás proveniente do Tratamento de Esgoto**. Artigo. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
- AMORIM, F. et al. **Unidades combinadas RAFA-SAC para tratamento de água residuária de suinocultura** – parte I carga orgânica removida. Artigo. Engenharia Agrícola. Minas Gerais, 2015.
- BALDACIN, A. C. S.; **Biodigestão Anaeróbia da Vinhaça: Aproveitamento Energético do Biogás**. Artigo. Faculdade Paulínia. São Paulo, 2015.
- BORGES, H. D.; **Avaliação de Biogás Gerado no Reator UASB da Estação de Tratamento de Esgotos Sanitários Paranoá-DF**. Artigo. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília. 2016.
- CAMPELLO, L. D., **Aproveitamento energético do biogás em estação de tratamento de esgoto**. Artigo, Itajubá, Minas Gerais, 2015.
- CANCELLI, T., **Geração de energia a partir do biogás de estações de tratamento de esgoto doméstico**. Artigo. Curso de Pós-Graduação em Mudanças Climáticas, Projetos Sustentáveis e Mercado de Carbono da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- CARDOSO, P. H. G., **PRODUÇÃO DE METANO A PARTIR DO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO VISANDO ENERGIA ALTERNATIVA**. Artigo. Recursos Hídricos e Saneamento, UFAL, São Paulo, 2016.
- CESA, L. C., **Centro Experimental de Saneamento Ambiental. Reator UASB**. Artigo. UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.
- CREMONEZ, P. A. et. al.; **Biodigestão Anaeróbica no Tratamento de Resíduos Lignocelulósicos**. Revista Brasileira de Energias Renováveis. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. v.2, p. 21-35. Paraná, 2013.
- CUTRIM, A. M. F., **APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES**. Artigo. Curso de Pós-Graduação Formas Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2012.
- FARIA, R. A. P.; **Avaliação do Potencial de Geração de Biogás de Produção de Energia a partir da Remoção da Carga Orgânica de uma Estação de Tratamento de Esgoto**. Estudo de Caso. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Pós-Graduação em Energia na Agricultura. Paraná, 2012.
- GASPAR, P. M. F., **Pós-tratamento de efluente de reator UASB em sistema de lodos ativados visando a remoção biológica do nitrogênio associada à remoção**

físico-química do fósforo. Artigo. Curso Engenharia Hidráulica, Escola Politécnica, São Paulo, 2003.

GIORDANO, G.; **Tratamento e Controle de Efluentes Industriais.** Artigo. Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente. Rio de Janeiro, 2004.

GOMES, G. V. et al; **Estudo da produção de energia elétrica a partir de biogás com e sem purificação de estação de tratamento de esgoto.** Artigo. Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

GUTERRES, B. Q.; **A energia do futuro: Biogás.** Artigo. Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Cruz, Rio Grande do Sul, 2016.

JOI; **O que é biogás de aterro.** Revista. Energês a Linguagem da Energia. 2020. Disponível: <<https://energes.com.br/fale-energes/o-que-e-biogas-de-aterro/>>.

JORDÃO, E. P., PESSÔA, C. A.; **Tratamento de Esgoto Doméstico. Tratamento de Esgoto Doméstico.** Artigo. Minas Gerais, 2009.

LIMA, A. C. G., PASSAMANI, F. C.; **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DO BIOGÁS PRODUZIDO NO REATOR UASB DA ETE-UFES.** Artigo. Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Espírito Santo, Espírito Santo, 2012.

MARQUES, S. M. A. A., **Produção de biofertilizante, adubo orgânico e biogás para agricultura familiar.** Artigo. Curso Educação, Gestão e Tecnologia Ambiental, UFSM, Santa Maria, 2014.

MARTINEZ, D. G., **Geração de energia elétrica a partir do biogás.** Artigo. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Programa de Pós-Graduação, 2013.

MENDES, T. N. A., **Potencial energético de biogás proveniente de estação de tratamento de esgoto: Um modelo de empreendedorismo e tecnologia social para cidades sustentáveis.** Artigo. Curso de Engenharia Ambiental e Sanitarista, Mestrado Energia, Universidade Salvador, Salvador, 2017.

METCALF, A.; EDDY, M. S. **Wastewater Engineering Treatment, disposal, reuse.** 4. ed. New York: McGraw-Hill International Editions, 2003.

PRADO, M. A. C.; CAMPOS, C. M. M.; **Produção de Biogás no Tratamento dos Efluentes Líquidos do Processamento de Coffea Arabica L. em Reator Anaeróbico UASB para o Potencial Aproveitamento na Secagem do Café.** Engenharia Química. Universidade Federal de Lavras. Minas Gerais, 2008.

ROSA, A. P., et al. **Potencial energético e alternativas para o aproveitamento do biogás e lodo de reatores UASB: estudo de caso Estação de tratamento de efluentes Laboreaux (Itabira).** Artigo Técnico. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 2016.

SOUZA, S. N. M. **Manual de Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás no Meio Rural**. Artigo. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Engenharia de Energia na Agricultura. Cascavel, Paraná, 2016.

VERSIANI, B. M.; **Desempenho de um reator UASB Submetido a Diferentes Condições Operacionais Tratando Esgotos Sanitários do Campus da UFRJ**. Tese. Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

ZILLOTI, H. A. R.; **Potencial de Produção de Biogás em uma Estação de Tratamento de Esgoto de Cascavel para a Geração de Energia Elétrica**. Tese de Mestrado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Paraná, 2012.