UNIVERSIDADE FEEVALE

ANGELICA CRISTIANE SMANIOTTO

GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO TRATAMENTO DE ESGOTO

Novo Hamburgo

2015

ANGELICA CRISTIANE SMANIOTTO

GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO TRATAMENTO DE ESGOTO

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química pela Universidade Feevale.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Siqueira Rodrigues

Novo Hamburgo

2015

**RESUMO**

A matéria orgânica, quando decomposta em meio anaeróbio origina uma mistura gasosa chamada de biogás. O biogás gerado em reatores anaeróbicos é obtido pela conversão microbiológica de resíduos agroindustriais ou domésticos, que tem como componentes o metano, dióxido de carbono, nitrogênio, oxigênio, sulfeto de hidrogênio e amônia, além de outros gases que variam suas concetrações conforme o substrato alimentado**.** Este gás é gerado tanto em processo naturais como em processos antropogénicos. O metano é o principal componente do biogás, ele apresenta um potencial de aquecimento global 21 vezes maior quando comparado ao dióxido de carbono. O biogás constitui-se de uma fonte de energia alternativa, bem como contribui na questão ambiental, pois reduz potencialmente os impactos ambientais, assim faz-se necessário buscar alternativas para aproveitar a produção deste componente. Diante do exposto, a pesquisa tem como objetivo principal analisar o potencial de geração de biogás a partir da digestão anaeróbica em um reator UASB, alimentado com lodo de esgoto. Para medir a quantidade de biogás produzido será montado um gasômetro do tipo cúpula flutuante, e serão introduzidos filtros para eliminar componentes indesejáveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biogás, Lodo de esgoto, Metano, UASB.

**ABSTRACT**

The organic material, when decomposed in anaerobic conditions produces a gas mixture called biogas. The biogas generated in the anaerobic reactor is obtained by microbiological conversion of agro-industrial or domestic waste, which has as components methane, carbon dioxide, nitrogen, oxygen, hydrogen sulfide and ammonia, and other gases which vary their concertinos as feeding substrate . This gas is generated in both natural process and by anthropogenic processes. Methane is the primary component of biogas, it has a global warming potential 21 times higher compared to carbon dioxide. Biogas consists of an alternative source of energy as well as contributes to the environmental issue, as potentially reducing environmental impacts, it is necessary to look for alternatives to take advantage of the production of this component. Given the above, the research aims to analyze the potential of biogas generation from anaerobic digestion in a UASB reactor fed with sewage sludge. To measure the amount of produced biogas one of the floating dome type gas meter is mounted, will be introduced and filters for removing unwanted components

**KEYWORDS :** Biogas , Sewage sludge , Methane , UASB .

**LISTA DE INLUSTRAÇÕES**

[**Figura 1: Emissões de gases de efeito estufa no Brasil, por setor de 1990 a 2012 (Tg = milhões de toneladas)** 11](#_Toc435683656)

[**Figura 2: Estimativa, em CO2eq., para setor Tratamento de Resíduos.** 11](#_Toc435683657)

[**Figura 3: Contribuição relativa de diversas fontes de emissão de CH4 no Brasil em 2005** 13](#_Toc435683658)

[**Figura 4: Esquema de decomposição anaeróbia** 18](#_Toc435683659)

[**Figura 5: Desenho esquematico de um reator UASB** 21](#_Toc435683660)

[**Figura 6: Esquema do gasômetro tipo cúpula flutuante** 27](#_Toc435683661)

**LISTA DE TABELAS**

[**Tabela 1. Tempo de retenção hidráulica** 22](#_Toc435683672)

[**Tabela 2: Composição típica de biogás gerado em reatores anaeróbios de tratamento de esgoto doméstico, aterros sanitários na fase metanogênica e digestores de lodo** 25](#_Toc435683673)

[**Tabela 3 Características de diferentes tipos de gases** 25](#_Toc435683674)

[**Tabela 4: Fator (F) de correção de umidade do biogás com relação a temperatura** 26](#_Toc435683675)

[**Tabela 5: Técnicas de remoção de impurezas do biogás** 28](#_Toc435683676)

[**Tabela 6: Níveis de tratamento conforme os diferentes tipos de uso** 29](#_Toc435683677)

[**Tabela 7: Programa de monitoramento de um reator UASB** 31](#_Toc435683678)

**SÚMARIO**

[1 INTRODUÇÃO 8](#_Toc435683773)

[2 Revisão bibliografica 9](#_Toc435683774)

[2.1 EFEITO ESTUFA 9](#_Toc435683775)

[2.1.1 Produção de metano 11](#_Toc435683776)

[2.2 ESGOTO 12](#_Toc435683777)

[2.2.1 Características do esgoto 13](#_Toc435683778)

[2.3 DIGESTÃO Anaeróbia 15](#_Toc435683779)

[2.3.1 Fundamentos da digestão anaeróbía 15](#_Toc435683780)

[2.3.2 Fatores que interferem na digestão anaeróbia 17](#_Toc435683781)

[2.4 Reator Anaeróbio de manta de lodo - UASB 19](#_Toc435683782)

[2.4.1 Principios do processo 20](#_Toc435683783)

[2.4.2 Partida do reator 21](#_Toc435683784)

[2.5 biogás 23](#_Toc435683785)

[2.5.1 Quantificação da produção de Biogás 24](#_Toc435683786)

[2.5.2 Limpeza do Biogás 26](#_Toc435683787)

[2.5.3 Utilização do biogás 29](#_Toc435683788)

[3 MetodologiA 30](#_Toc435683789)

[4 cronograma 31](#_Toc435683790)

[5 Bibliografia 32](#_Toc435683791)

# INTRODUÇÃO

Atualmente o cenário ambiental no Brasil e no mundo esta preocupante, em funções de diversos fatores como excesso de gases poluentes na atmosfera, falta de saneamento básico para a população, excesso do uso de combustíveis fósseis e escassez de recursos naturais como a água. Devidos a esses fatores faz-se necessário uma busca de alternativas para minimizar esses e outros problemas ambientais.

Portanto o biogás gerado em reatores anaeróbios pode ser uma alternativa para minimizar esses problemas citados anteriormente. Quando usamos um reator UASB alimentado com lodo de esgoto, problemas como de saneamento poderão ser reduzido, estaremos utilizando gases que são liberados na atmosfera em processos de degradação natural da matéria orgânica, diminuído assim problemas como o efeito estufa, e ainda poderemos usar estes gases como fonte de energia tanto elétrica como veicular, além de outros usos.

Este trabalho será desenvolvido na Universidade Feevale, no campus II localizado na cidade de Novo Hamburgo-RS as margens da RS 239. No projeto será utilizado um reator UASB alimentado com o esgoto da instituição, a fim de gerar biogás que será quantificado posteriormente.

O objetivo principal deste trabalho é analisar o potencial de geração de biogás a partir da digestão anaeróbia em um reator UASB alimentado com lodo de esgoto. Os objetivos específicos são: Montar um reator UASB; Realizar a partida do reator; Propor uma forma de medir a quantidade de biogás produzido e; Avaliar as possíveis variáveis como pH, temperatura que podem interferir na produção digestão anaeróbia.

# Revisão bibliografica

## EFEITO ESTUFA

O efeito estufa ocorre devido às concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, esse processo existe desde antes do aparecimento do homem. O efeito estufa é um processo que se desenvolve de forma natural, quando a energia solar de comprimento de onda curto ultrapassa a atmosfera terrestre sem interação com os GEE, ao atingir a superfície terrestre, a energia é refletida e volta para a atmosfera com um comprimento de onda mais longo criando assim o chamado infravermelho, que interage parcialmente com os GEE (CARVALHO et al, 2010).

Parte da irradiação é absorvida na atmosfera, aumentando assim a temperatura média do ar. Essa interação permite que a temperatura média da atmosfera terrestre seja de 15 ºC, promovendo o chamado "efeito estufa natural". Caso não houvesse esses gases na atmosfera, a temperatura média da Terra seria de -18 ºC (NASCIMENTO, 2011).

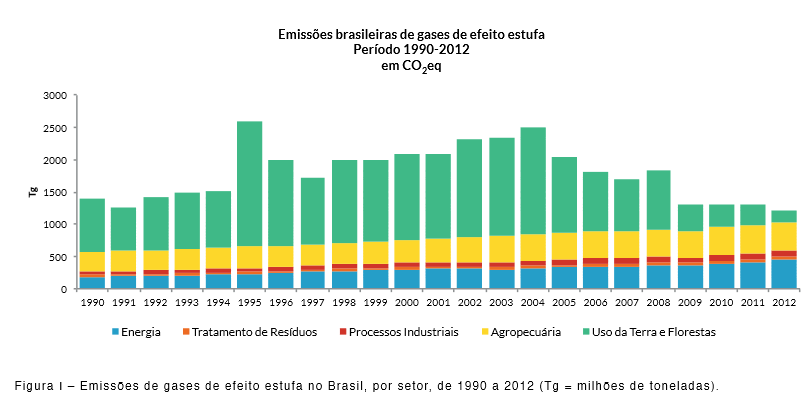
Entre os gases do efeito estufa mais importante pode-se citar o dióxido de carbono (CO2), o metano (CH4) e o óxido nitroso (N2O). O CO2 é o gás com maior índice de emissão. Em 2004, o CO2 representou 77% das emissões antropogênicas globais de gases de efeito estufa. O tempo de permanência deste gás na atmosfera é, no mínimo, de 100 anos (PINTO et al, 2010; NASCIMENTO, 2011).

O CH4 é emitido em menor quantidade, mas seu potencial de aquecimento é vinte vezes superior ao do CO2. O N2O possui sua concentração na atmosfera ainda menor, no entanto, o seu potencial de aquecimento é de 310 vezes maior do que o CO2 (PINTO et al, 2010).

Em 2006 foram realizados estudos que constataram que com o aumento da concentração de GEE na atmosfera devido à ação humana, elevou-se a temperatura média do globo em 0,6 ºC, do século anterior para este, também se constatou que a taxa de aquecimento é de 0,21 ºC a cada década. Entretanto, alguns cientistas preveem aumentos da ordem de 5,8 ºC para os próximos 100 anos (TOWNSEND, 2006).

Segundo o inventário das estimativas de geração dos GEE divulgado pelo Mistério da ciência, tecnologia e inovação em 2014, a geração de GEE no Brasil diminui no período de 1990 a 2012. A figura 1 ilustra a quantidade de GEE para este período nos 5 setores responsáveis por estes poluentes (BRASIL, 2014).

**Figura 1: Emissões de gases de efeito estufa no Brasil, por setor de 1990 a 2012 (Tg = milhões de toneladas)**

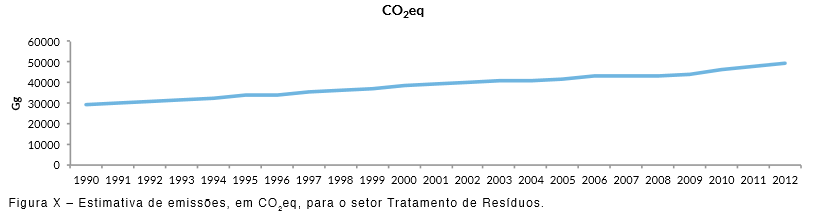


**Fonte: Brasil, 2014**

O setor de energia teve um aumento significativo na geração dos GEE, o setor do uso da terra e florestas diminui acentuadamente enquanto que os setores da agropecuária, processos industriais e tratamento de resíduos tiveram um leve aumento (BRASIL, 2014).

Segundo Brasil, (2014) o aumento das emissões de GEE gerados a partir de resíduos sólidos e efluentes tanto indústriais quanto domésticos se deve principalmente pelo crescimento da população. Isolando somente este setor percebe-se o crescimento confome a figura 2 ilustra:

**Figura 2: Estimativa, em CO2eq., para setor Tratamento de Resíduos.**



**Fonte: Brasil, 2014**

### Produção de metano

Conforme Nogueira (1986) apresenta, o metano foi descoberto em 1776 pelo químico Alessandro Volta, esse químico identificou o metano como um gás resultante da decomposição de restos de vegetais em ambientes confinados. Em 1806, na Inglaterra, Humphrey Davy identificou um gás rico em carbono e dióxido de carbono, resultante da decomposição de dejetos animais em lugares úmidos, ligando esse gás com o descoberto por Volta. Em 1844, Ulisse Gayo, mostrou que o gás metano pode ser produzido a partir da fermentação de uma mistura de excrementos, palha de estábulo e água (NOGUEIRA,1986).

O metano pode ser emitido por fontes naturais ou por atividades humanas. Mais de 60% do total das emissões de CH4 global é proveniente de fontes antrópicas (USEPA, 2015).

Os níveis de emissões de metano variam de uma região para outra, pois eles dependem de fatores como clima, características da produção industrial e agrícola, tipos e usos de energia, e as práticas de gestão de resíduos (LOBATO, 2011).

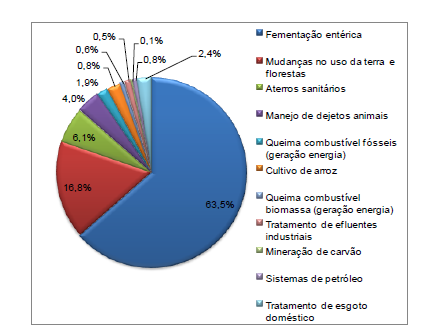
Como fontes naturais de emissão de CH4,pode-se citar como principal as zonas húmidas, pois geram esse gás a partir de bactérias que decompõem os materiais orgânicos na ausência de oxigênio (BRASIL, 2009).

Efluentes que possuem um alto grau de conteúdo orgânico também possuem um grande potencial de emissões de CH4, em especial o esgoto doméstico e comercial (BRASIL, 2009).

O CH4 pode ser removido da atmosfera por vários meios. Processos naturais no solo e reações químicas na atmosfera ajudam a remover CH4. Sendo assim, o tempo de vida de metano na atmosfera é muito mais curto do que o dióxido de carbono, porém o CH4 é mais eficiente na retenção de radiação do que o CO2 (USEPA, 2015).

A Figura 3 representa a contribuição relativa de diversas fontes de emissão de CH4 no Brasil, no ano de 2005:

**Figura 3: Contribuição relativa de diversas fontes de emissão de CH4 no Brasil em 2005**



**Fonte: Brasil, 2010**

A fermentação entérica (processo digestivo que ocorre no rúmen dos [herbívoros](https://pt.wikipedia.org/wiki/Herb%C3%ADvoro) [ruminantes](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ruminante)) representa 63,5% da produção de metano no período de 2005, as mudanças no uso da terra e de floresta representam 16,8% e aterros sanitários representa 6,1%, sendo estes três os principais responsáveis pela produção de CH4 no Brasil (BRASIL, 2010).

Em seguida tem-se o manejo de dejetos de animais (4,0%), tratamento de esgoto doméstico (2,4%), queima de combustíveil fóssil (1,9%), cultivo de arroz (0.8%), sistemas de petróleo (0,8%) queima de combustível biomassa (0,6%), tratamento de efluentes industriais (0,5%) e mineração de carvão (0,1%) (BRASIL, 2010).

## ESGOTO

A medida que a a população cresce a poluição aumenta também. O esgoto e demais resíduos urbanos se tornam um problema para o meio ambiente. O esgoto doméstico provem de residências, estabelecimentos comerciais, instituições ou quaisquer edificações que dispõe de instalações de banheiros, lavanderias e cozinhas (BRASIL, 2006; MARTINELLI, et al, 2011).

A maioria os sitemas naturais tem capacidade para decompor matéria orgânica até um certo limite. No entanto os problemas surgem quando a taxa de entrada de esgoto excede a essa capacidade de decomposição, pois taxas extremamente altas em lagos e rios podem levar a condições anaeróbias causando assim a morte da fauna e flora que habita o local (TOWNSEND, 2006).

O esgoto quando tratado gera um lodo, no qual é caracterizado como um fluido formado por água e matéria sólida, independente do nível de sólidos, da viscosidade, da fluidez ou do volume (CRESPO, 2001).

Exitem diversos tipos de lodos, que são diferenciados pela sua densidade, composição e viscosidade. O lodos podem ser divididos básicamente em: lodos primários; lodos secundários; lodo primário + secundário; lodo digerido e escumas (CRESPO, 2001).

O lodo de esgoto é um produto poluente tanto pelos níveis de patógenos quanto pelos teores de nutrientes presentes, especialmente nitrogênio. Quando é largado excessivamente em um ambiente aquático, o oxigênio é consumido pelos microrganismos decompositores mais rapidamente do que é reposto no ecossitema, pela fotossíntese de das plantas aquáticas e pela difussão do ar (TOWNSEND, 2006).

### Características do esgoto

O esgoto é considerado um líquido, quando não contém resíduos industriais sua composição é de 99,87 % de água; 0,07 % de substâncias dissolvidas; 0,04% de sólido sedimentáveis e 0,02% de sólidos não sedimentáveis. Estima-se que cerca de 75 % dos sólidos são contituidos de matéria orgânica em decomposição (MARTINELLI, et al, 2011; JORDÃO, PESSOA, 2014).

A temperatura do esgoto é um pouco superior à das águas de abastecimento. A temperatura influência na velocidade de decomposição, quanto maior a temperatura maior sera a velocidade, a faixa ideal para atividade biológica é de 25 a 35 ºC. Além disso o aumento da temperatura faz diminuir a viscosidade, melhorando as condições de sedimentação (BRASIL, 2006; JORDÃO, PESSOA, 2014).

O odor do esgoto é causados pelos gases formados no processo de decomposição. Se destacando dois odores em especial, o de mofo que típico do esgoto fresco é razoavelmente suportável e o odor de ovo podre que é típico de esgotos velhos ou sépticos, ele é considerado insuportável (BRASIL, 2004).

Cerca de 70% dos sólidos no esgoto são de origem orgânica, esses compostos são uma combinação de carbono, hidrogênio e oxigênio, e algumas vezes com nitrogênio. Os grupos de substâncias orgânicas são divididos em proteínas (40 a 60%), carboidratos (25 a 50%), gorduras e óleos (10%) e outras substáncias (JORDÃO, PESSOA, 2014).

As proteínas produzem nitrogênio, carbono, hidrogênio, oxigênio, algumas vezes fósforos, enxofre e ferro. O gás sulfídrico presente nos esgotos é proveniente do enxofre fornecido pelas proteínas. Os carboidratos contêm carbono, hidrogênio e oxigênio, eles são as principais substâncias a serem destruídas pelas bactérias, com a produção de ácidos orgânicos. A gordura provem geralmente do esgoto doméstico graças ao uso de manteiga, óleos vegetais, da carne, etc (JORDÃO, PESSOA, 2014).

A matéria inorgânica é formada principalmente pela presença de areia e de substâncias minerais dissolvidas (BRASIL, 2006).

A demanda quimica de oxigênio (DQO) é a forma mais utilizada de medir a quantidade de matéria orgânica presente, ela mede a quantidade de oxigênio necessario para estabilizar a matéria orgânica presente na amostra (BRASIL, 2004).

É importante conhecer a quantidade de matéria orgânica presente para assim conhecer o grau de poluição de águas residuárias, e fazer o dimensionamento das estações de tratamento além de medir sua eficiência, quanto maior o grau de poluição maior sera a DQO (JORDÃO, PESSOA, 2014).

Além da DQO existem outras formas de caracterizar a matéria orgânica do sistema, através da fração de sólidos volateis presente nos sólidos totais; do oxigênio dissolvido; do oxigênio consumido e do nitogênio e fósforo (JORDÃO, PESSOA, 2014).

## DIGESTÃO Anaeróbia

O termo digestão no processo de tratamento de esgoto é aplicado ao processo de estabilização da matéria orgânica, obtidos através da ação da população de bactérias mantidas em contato com o lodo. Esse processo de digestão pode ser anaeróbio, aeróbio ou ambos combinados (LARA, et al, 2003).

A digestão anaeróbia é processo de degradação mediado por microrganismos na ausência de oxigênio, transformando compostos orgânicos complexos  
em substâncias simples. A digestão anaeróbia esta presente desde simples fossas sépticas domésticas, até estações completamente automatizadas (LARA, et al, 2003).

Na digestão anaeróbia diversos grupos de microrganismos trabalham conjutamente na conversão da matéria orgânica em metano, dóxido de carbono, água, sulfeto de hidrogênio e amônia, além da sintese de novas células bacterianas (LORA, VENTURINI, 2012)

Pode-se citar como vantagens do processo de digestão anaeróbia: baixo custo, simplicidade operacional e baixa produção de sólidos, necessidade de pouco espaço, alta eficiência na remoção orgânica. Climas quentes, como o Brasil são mais favoráveis para utilizar a digestão anaeróbia. Pois a digestão depende da temperatura do esgoto, devido baixa atividade dos microrganismos anaeróbios em temperaturas baixas (FORESTI, 2002; COELHO et al, 2004).

A digestão anaeróbica representa uma alternativa para o tratamento de resíduos, promovendo a geração do biogás, utilizado como fonte de energia alternativa (AMARAL et al 2004).

### Fundamentos da digestão anaeróbía

Os microorganismos que participam do processo de decomposição anaeróbia podem ser divididos em três grupos de bactérias, as fermentativas, a acetogênicas e a metanogênicas. O processo de fermentação dividi-se em hidrólise e a acidogênese. (COELHO et al, 2004).

Na hidrólise ocorre a conversão da matéria orgânica complexa em monômeros, tais como açucares, ácidos orgánicos, aminoácidos, etc. Esta conversão ocorre atráves das enzimas extracelulares, que são excretadas pelas bactérias fermentativas hidrofílicas. Esse processo ocorre de forma lenta, fatores como temperatura, pH, tempo de residência podem afetar essa etapa (COELHO et al, 2004; LORA, VENTURINI, 2012),

Na próxima etapa de fermentação ocorre a acidogênese. As bactérias fermetativas acidogênitacas são responsáveis pelos ácidos graxos voláteis, álcoois, ácidos lácticos, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio, além de novas células bacterianas (CHERNICHARO, 2000).

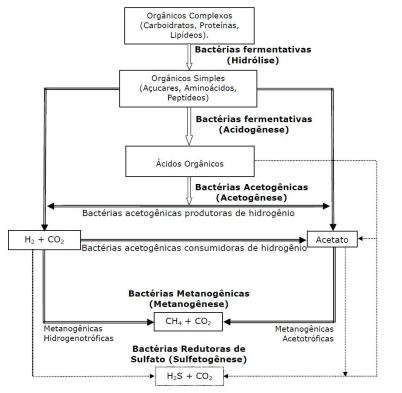
Após a fermentação inicia-se o processo de acetogênese, etapa onde atuam bactérias facultativas, capazes de agir tanto em meio aeróbio quanto anaeróbio. As bactérias acetogênicas atacam os ácidos graxos voláteis e outros compostos orgânicos formados durante a etapa acidogênica, transformando-os em ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono (COELHO et al, 2004; LARA, et al, 2003).

A etapa final do processo é a metanogênese, nesse processo ocorre a formação de metano, onde atuam obrigatoriamente bactérias anaeróbias e extremamente sensíveis a mudanças no meio, como temperatura e pH. As bactérias metanogênicas transformam o H2, o CO2 e o CH3COOH, em CH4 e CO2 (COELHO et al, 2004; CHERNICHARO, 2000).

Essa fase é dividida em dois grupos de bactérias: As bactérias utilizadoras de acetato que são responsáveis por cerca de 70% da produção de metano, essas bactérias formam CH4 a partir do ácido acético ou metanol. O segundo grupo é formado pelas bactérias utilizadoras de hidrogênio, elas formam o metano a partir do hidrogênio e do dióxido de carbono. (COELHO et al, 2004; CHERNICHARO, 2000)

De maneira simplificada pode-se explicar as etapas de degradação anaeróbia pela figura 4:

**Figura 4: Esquema de decomposição anaeróbia**



**Fonte: Morais, 2012**

### Fatores que interferem na digestão anaeróbia

Dentre os possíveis fatores que podem causar um desequilíbrio dos digestores estão mudanças de temperatura, pH, presença de material tóxico aos microorganismos, variações no tempo de retenção hidráulica e um aumento repentino de carga orgânica (OLIVEIRA, 2011).

A temperatura afeta os processos biológicos de diferentes maneiras, dentre os principais efeitos inclui-se alteração na velocidade de metabolismo das bactérias, no equilíbrio iônico e na solubilidade dos substratos principalmente de lipídeos (HAANDEL et al,1999).

As temperaturas mais elevadas durante o processo levam a um efeito positivo sobre a taxa metabólica dos microrganismos. A queda da temperatura causa menor eficiência na remoção da DQO e de sólidos suspensos, menor produção de biogás e acúmulo de ácidos graxos voláteis (OLIVEIRA, 2011; TREVIZAN, 2013).

O pH é um dos fatores mais importantes a ser mantido para se obter eficiência no tratamento ele pode interferir no processo anaeróbio de forma direta ou indiretamente, na forma direta a variação de pH afeta a atividade das enzimas, alterando suas estruturas protéicas, na forama indireta as mudanças do pH podem provocar a alteração de substâncias, aumentando a toxicidade do meio (OLIVEIRA, 2011).

Na digestão anaeróbia, a faixa de pH é o resultado das diversas reações que ocorrem no processo e sua queda revela um acúmulo de ácidos intermediários num nível superior ao tolerado, o que pode ser resultado de um desequilíbrio entre a produção e o consumo dessas substâncias (OLIVEIRA, 2011).

As bactérias metagênicas são consideradas sensiveis em pH, isto é seu crescimento fica comprometido fora da faixa de pH entre 6,5 e 8,2, sendo aceito operações até 6 (HAANDEL et al, 1999).

Para o crescimento e a atividade microbiana é importante que haja disponibilidade de certos nutrientes, como nitrogênio (N), fósforo (P) e carbono (C), essenciais para todos os processos biológicos (TREVIZAN, 2013).

A quantidade necessáriade cada nutriente é variável e, se este não atingir a concentração mínima exigida, pode limitar o crescimento dos microrganismos. Por outro lado, se a concentração do nutriente exceder determinado valor, ela pode se tornar tóxica, inibindo a atividade e o crescimento bacteriano. Em geral admite-se uma concetração que a relação DQO : N : P de 500 : 5 : 1 é suficiente para manter os microorganismo vivos (TREVIZAN, 2013).

A relação carbono / nitrogênio (C : N) do substrato é fundamental para que haja a formação dos ácidos orgânicos que serão transformados pelas bactérias metanogênicas em biogás. A proporção ideal está em torno de 20 : 1 ou 30 : 1, tanto abaixo ou acima desses níveis pode ocorrer inibição do crescimento dos microrganismos e da produção de biogás. O tipo de substrato pode acelerar ou retardar a produção de biogás, isto devido ao tempo de adaptação que os microrganismos necessitam para iniciar o processo (TREVIZAN, 2013).

O enxofre também é considerado um dos nutrientes essenciais para a metâgenese, sua concentração deve ser da mesma ordem de grandeza que o fósforo. As bactérias assumem o enxofre na forma de sulfetos (HAANDEL et al, 1999).

Dentre os micronutrientes considerados essenciais destacam o ferro, o cobalto, o niquel, e o zinco. É pouco provavel que os esgotos sanitários apresentem deficiencia de nutriente pois tanto os macronutrientes (N e P) como os micronutrientes estão abundantemente presentes (HAANDEL et al, 1999).

A utilização de inóculo também influencia a digestão, este processo consiste em reutilizar parte do material que já passou pelo processo, capaz de fornecer ao novo substrato uma população adicional de microrganismos típicos da biodigestão anaeróbia. A utilização de inóculo é justificada pela redução do tempo de início da operação do biodigestor até a estabilidade de funcionamento, o que está relacionado com a degradação do substrato (TREVIZAN, 2013).

## Reator Anaeróbio de manta de lodo - UASB

Dentre os vários tipos de reatores anaeróbios existentes o Upflow Anaerobic Sludge Blanke (UASB) tem se tornado uma boa opção devido a sua simplicidade e ecônomia. Este reator também é conhecido no Brasil como Reator Anaeróbio de Fluxo Acendente (RAFA) (CHERNICHARO, 2000).

Este reator é capaz de suportar altas taxas de carga orgânica e a principal diferença quando comparado com outros reatores da mesma geração, é sua simplicidade construtiva e os baixos custos operacionais (MARTINELLI, et al, 2011; CHERNICHARO, 2000).

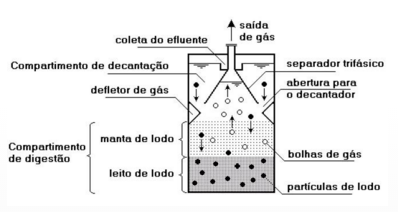
Reatores anaeróbio como o UASB apresentam também como vantagem em relação aos sistemas convencionais aeróbios de tratamento de esgoto, eles reduzem aproximadamente 70% da carga orgânica que segue para o pós tratamento, diminuindo assim o consumo de oxigênio necessário para a estabelização da matéria orgânica (PIEROTTI, 2007).

Na parte hidráulica seu maior problema é que a direção ascendente do fluxo conflita com a necessidade de sedimentação do material mais fino. Os gases também possuem um fluxo ascendencional que também prejudica a sedimentação (MARTINELLI, et al, 2011).

### Principios do processo

Um projeto de manta de lodo é bastante simples não demandando a implatação de qualquer equipamento sofisticado. O reator UASB contém uma câmara de digestão, um separador de fases, uma zona de transição, uma zona de sedimentação e uma zona de acumulo do gás. A figura 5 ilustra um reator UASB e seu processo basico de funcionamento (CHERNICHARO, 2000; JORDÃO, PESSOA, 2014).

**Figura 5: Desenho esquematico de um reator UASB**



**Fonte: SAMAE, [201-]**

O afluente entra na camâra de digestão que esta localizada na parte inferior, onde se localiza o leito de lodo, é neste local que acontece a digestão anaeróbia. Acima dela esta localizada a manta de lodo onde se desenvolve uma zona de crescimento bacteriano mais disperso, o sistema se mistura pelo movimento das bolhas de biogás e do fluxo do esgoto conforme a figura 5 ilustra (CHERNICHARO, 2000).

O separador de fases separa as fases sólida, da fase liquida e gasosa, funciona como um defletor de gases. A Zona de sedimentação é um compartimento para decantantação separando assim a parte líquida da sólida, assim efluente é recolida ja parcialmente tratado. O gás que é produzido na digestão é retido em uma zona superior de acumulação, onde é coletado e pode ser aproveitado (JORDÃO, PESSOA, 2014).

O reator UASB apresenta como pâmetros operacionais o tempo de retenção hidráulica de sólidos, o tempo de detenção hidráulica, as cargas volúmetricas orgânicas e hidráulicas e a velocidade ascensional. A massa de sólidos na manta de lodo é parâmetro de controle do tempo de residência celular e serve para realizar a caracterização da atividade metanogênica do processo anáeróbio (PIEROTTI, 2007).

O tempo médio de detenção hidraulica é de 6 a 10 horas. Este tempo varia de acordo com a temperatura conforme a tabela 1 (JORDÃO, PESSOA, 2014).

**Tabela 1. Tempo de retenção hidráulica**

|  |  |
| --- | --- |
| Temperatura (ºC) | Tempo médio (h) |
| 15 a 17 | ≥ 10 |
| 18 a 21 | ≥ 8 |
| 22 a 25 | ≥ 7 |
| >25 | ≥ 6 |

Fonte: Jordão e Pessoa, 2014

### Partida do reator

Existem três maneiras para dar a partida de um reator anaeróbio: com inóculo adaptado ao esgoto a ser tratado, sendo esta uma partida rápida e satisfatória; com inóculo não adaptado, na qual necessita de um período de aclimatação e; sem a utilização do lodo de inóculo, porém esta é a pior forma (PIEROTTI, 2007; HAANDEL et al, 1999).

A inoculação pode ser feita com o reator cheio ou vazio, porém a segunda opção é a melhor, pois diminui as perdas de lodo durante o processo de transferência (PIEROTTI, 2007; HAANDEL et al, 1999).

Recomenda-se que o inóculo seja descarregado no fundo para evitar turbulências e contato excessivo com o ar, o lodo deve ficar em repouso pelo período aproximado de 12 a 24 horas, possibilitando assim sua adaptação a temperatura ambiente (PIEROTTI, 2007; HAANDEL et al, 1999).

Terminado o período de repouso, deve-se iniciar a alimentação até o mesmo atingir aproximadamente metade de seu volume útil. Em seguida deve-se deixar o reator sem alimentação por um período de 24 horas (PIEROTTI, 2007; HAANDEL et al, 1999).

Após esse período deve-se coletar uma amostra do sobrenadante do reator a fim de efetuar análises de temperatura, pH, alcalinidade, ácidos voláteis e DQO. Sendo que o pH deve estar entre 6,8 e 7,4 e os ácidos voláteis abaixo de 200 mg/L (como ácido acético). Se estes parâmetros estiveram dentro da faixa aceitável deve-se realizar uma nova alimentação no reator, de forma que desta vez o mesmo atinja seu volume total (CHERNICHARO, 2000).

Deve-se suspender a alimentação novamente por um período de 24 horas. Ao término deste período novas amostras devem ser coletadas e analisadas. Se os parâmetros estiverem dentro das faixas analisadas inicia-se então a alimentação continua do reator que é cerca de 50 a 60% da vazão total (PIEROTTI, 2007; HAANDEL et al, 1999).

Deve-se monitorar o processo continuamente. A vazão pode ser aumentada gradativamente em média a cada 15 dias, ou de acordo com a resposta do sistema, fazendo os ajustes necessários conforme os resultados obtidos (PIEROTTI, 2007; HAANDEL et al, 1999).

Segundo trabalho realizado por Valderi et al ([200-]) o tratamento anaeróbio da fração orgânica dos resíduos sóldos urbanos, inoculados com lodo de esgoto sanitário, favorece consideravelmente o desempenho do processo em termos de redução do tempo de bioestabilização da matéria orgânica. Neste trabalho foi estudado o processo de tratamento anaeróbio de alta concentração de sólidos empregado à fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos inoculados com lodo de esgoto sanitário.

O trabalho foi realizado em três etapas distintas, com tempo de operação variando 315 a 645 dias. Para reatores monitorados com 45 % de inóculo, foi obtida eficiência de 65 % de transformação de massa de DQO e taxa média de produção de CH4 igual a 0,80 Nm3CH4kg-1 de massa de DQO transformada (VALDERI et al, [200-]).

## biogás

A matéria orgânica, quando decomposta em meio anaeróbio origina uma mistura gasosa chamada de biogás. O biogás gerado em reatores anaeróbicos é obtido pela conversão microbiológica anaeróbia de resíduos agroindustriais e domésticos, que tem como componente principal o metano, além de outros gases como o dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio, nitrogênio, oxigênio e amônia. Sendo o metano o principal responsável por sua capacidade energética (AZEVEDO et al, 2004).

O processo de formação do biogás é muito comum na natureza e ocorre, por exemplo, em pântanos, fundos de lagos, esterqueiras e no rúmen de animais ruminantes. Por meio de diversos microrganismos, a matéria orgânica é convertida em biogás quase por completo (FNR, 2010; SILVA et al 2014).

A proporção de cada gás na mistura depende de vários parâmetros, como o tipo de digestor e o substrato (matéria orgânica a digerir). De qualquer forma, esta mistura é essencialmente constituída por metano e dióxido de carbono, os demais componentes variam sua concentração, e as vezes podem não estar presente, dependendo do meio alimentado no reator (COELHO et al, 2004; LARA, et al, 2003).

Os constituintes que geralmente estão presentes no biogás gerado em aterros sanitários, digestores de lodo e em reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico são apresentados na tabela 2:

**Tabela 2: Composição típica de biogás gerado em reatores anaeróbios de tratamento de esgoto doméstico, aterros sanitários na fase metanogênica e digestores de lodo**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Parâmetro | Unidade | Biogás de reatores anaeróbios | Biogás de aterros sanitários | Digestores de lodo |
| Metano | % | 60 a 85 | 45 a 50 | 60 a 70 |
| Gás carbônico | % | 5 a 15 | 30 a 45 | 20 a 40 |
| Monóxido de carbono | % | 0 a 0,3 | 0 a 0,2 | - |
| Nitrogênio | % | 10 a 25 | 0 a 15 | < 2 |
| Hidrogênio | % | 0 a 3 | Traços a >1 | - |
| Sulfeto de hidrogênio | ppmv | 1000 a 2000 | 10 a 200 | Até 1000 |
| Oxigênio | % | Traços | 0,8 | - |

Fonte: Lobato, 2011

As principais características do biogás, do gás natural e do gás de síntese são apresentadas na tabela 3:

**Tabela 3 Características de diferentes tipos de gases**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Parâmetro | Unidade | Gás natural | Gás de síntese | Biogás (60% CH4) |
| Poder calorífico inferior | MJ.m-3  Kcal.m-3 | 31,8  7.600 | 16,1  3.846 | 21,5  5.134 |
| Densidade | Kg.m-3 | 0,82 | 0,51 | 1,21 |
| Índice de Wobbe | MJ.m-3 | 39,9 | 22,5 | 19,5 |
| Requisitos teórico de ar | m.s-1 | 0,39 | 0,7 | 0,25 |
| Concentração máxima de CO2 após combustão | % (v) | 11,9 | 13,1 | 17,8 |

Fonte: Lobato, 2011

### Quantificação da produção de Biogás

O biogás produzido pode ser quantificado através de um gasômetro do tipo cúpula flutuante medindo o deslocamento vertical do gasômetro e multiplicando pela área da seção transversal interna, com isso calcula-se o volume produzido nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP). Rita (2002) utilizou-se em seu projeto um gasômetro de cúpula flutuante instalado junto ao reator para medir a produção de biogás diário (BARANA, 2000).

A equação 1 é utilizada para quantificar a produção do biogás em um gasômetro de cúpula flutuante. O valor do fator *F* pode ser encontrado na tabela 4 para temperaturas de 30 a 40 ºC, em temperaturas menores utiliza-se valor de 0,9540 conforme Pierotti (2007). (BARANA, 200)

(1)

Onde:

*P0* - pressão na CNTP (760 mmHg);

*V0* - volume na CNTP;

*T0* - temperatura na CNTP (273 K);

*P1* - pressão local

*V1* - volume medido (L);

*T1* - temperatura média (K);

*F* - fator de correção de umidade do biogás

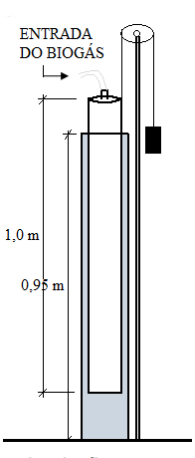
**Tabela 4: Fator (F) de correção de umidade do biogás com relação a temperatura**

|  |  |
| --- | --- |
| Temperatura ( ºC ) | F |
| 30 | 0,9540 |
| 31 | 0,9512 |
| 32 | 0,9484 |
| 33 | 0,9454 |
| 34 | 0,9423 |
| 35 | 0.9390 |
| 36 | 0,9355 |
| 37 | 0.9319 |
| 38 | 0,9281 |
| 39 | 0,9242 |
| 40 | 0,9000 |

Fonte: Barana, 2000

A figura 4 mostra o esquema de um gasômetro tipo cúpula flutuante construído por Pierotti (2007):

**Figura 6: Esquema do gasômetro tipo cúpula flutuante**

****

**Fonte: Pierotti, 2007**

### Limpeza do Biogás

Geralmente não é possível aproveitar diretamente o biogás bruto produzido em uma usina em virtude de suas substâncias específicas como o sulfato de hidrogênio e amônia. Quando substâncias como água e dióxido de carbono estão presentes acaba ocorrendo um prejuízo no processo de queima, tornando-o menos eficiente. Estas substâncias misturam-se com o combustível, absorvendo parte da energia gerada (COELHO et al, 2004; FNR, 2010).

A maioria dos digestores anaeróbios produz um biogás que contém entre 0,3 e 2 % de H2S, observando-se também a presença de traços de nitrogênio e hidrogênio. Por essa razão, o biogás é submetido a vários estágios de purificação, que combinados de diferentes formas são o pré-requisito para diferentes opções de uso (COELHO et al, 2004; FNR, 2010).

O vapor contido no biogás se combina com o sulfeto de hidrogênio originando ácido sulfúrico. A remoção do H2S é frequentemente um requisito por motivos de saúde, segurança, ambiental e corrosão de equipamentos, como motores a gás, caldeiras e canos. Existem diferentes processos para realizar a dessulfurização. Os processos se classificam em biológicos, químicos e físicos (FNR, 2010; PAQUES,[ 200-]).

O vapor d'água deve ser removido do biogás a fim de proteger os componentes de processamento de gás contra desgaste e danos. A quantidade de água e vapor d'água que o biogás pode absorver depende da sua temperatura. No digestor, a umidade relativa do biogás é de 100%. A retirada de água do biogás pode ser por secagem através condensação, secagem por adsorção (gel de sílica, carvão ativado) ou secagem por absorção (desidratação por glicol) (FNR, 2010).

Outra etapa da limpeza do biogás é a de remoção do dióxido de carbono, sendo necessária principalmente quando o objetivo é injetar o gás na rede de gás natural. Os fatores determinantes na escolha do processo são a composição do gás, a qualidade do produto que se pode obter, as perdas de metano e os custos de tratamento, variáveis conforme a situação local (FNR, 2010).

A tabela 5 apresenta algumas tecnicas de remoção de algumas impurezas do biogás:

**Tabela 5: Técnicas de remoção de impurezas do biogás**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Impureza | Tecnologias | Mateial Utilizado |
| Água | Adsorção | Silica geral |
| Peneira molecular |
| Alumina |
| Absorção | Etilenoglicol |
| Temperatura – 6,7 ºC |
| Selexol |
| Refrigeração | Resfriamento a 2 ºC |
| Hidrocarbonetos | Adsorção | Carvão ativado |
| Absorção | Óleo leve |
| Etileno glicol |
| Selexol |
| Temperatura entre -6,7 e -33,9 ºC |
| Combinação | Refrigeração com atilenoglicol e adsorção em carvão ativado |
| CO2 e H2S | Absorção | Solvente orgânico |
| Flúor |
| Selexol |
| Rectisol |
| Soluções de sais alcalinos |
| Potássio quente e potássio quente inibido |
| Alcanolaminas |
| Mono, di e tritanolaminas |
| Diglicolaminas |
| Ucarsol CR (solvente) |
| Absorção | Peneiras moleculares |
| Carvão ativado |
| Separação por membranas | Membrana de fibra oca |
| Siloxina | Adsorção | Carvão ativado |

Fonte: Lora, Venturini, 2012

No trabalho desenvolvido por Rita et al (2002) utilizou-se para limpeza do biogas dois frascos, um com palha de aço e o segundo com sílica gel, adaptados na saída do biogás, antes que o biogás entrasse no gasômetro para que fossem retidos o H2S e a umidade do biogás, respectivamente.

Num trabalho realizado por Coelho et al (2004) para realizar a limpeza do biogás gerado no processo de tratamento de esgoto, foi utilizado para a retirada da umidade presente no biogás, filtros coalescentes e dois secadores por refrigeração. Quanto à remoção do H2S gasoso, foi utilizado um filtro de carvão ativado, operando pelo princípio de adsorção, enquanto que, para a remoção do H2S solubilizado na água, foram utilizados secadores por refrigeração e filtros coalescentes.

Um resumo dos níveis de tratamento requeridos para alguns tipos de uso do biogás para H2S e CO2 é apresentado na tabela 6:

**Tabela 6: Níveis de tratamento conforme os diferentes tipos de uso**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Tipo de uso do biogás | Remoção de água | Remoção de H2S | Remoção de CO2 | Outros requisitos |
| Uso direto para geração de calor (ex: combustível para caldeiras e aquecedores | Tratamento parcial | Nenhum a tratamento completo | Nenhum tratamento | - |
| Cogeração de eletricidade e calor a partir de motores de combustão interna | Tratamento parcial a completo | Tratamento parcial a completo | Nenhum a tratamento completo | - |
| Cogeração de eletricidade e calor a partir de turbinas e microturbinas | - | Turbina (H2S < 10000 ppmv) Microturbina (H2S < 50 ppmv) | - | Pressão do combustível nas microturbinas: 345-552KPa |
| Injeção na rede de gás natural | Tratamento completo (unidade < 70 – 80%) | Tratamento completo (H2S < 5 mg/m3) | Tratamento completo (CH4 > 95%) | Compressão: 60 a 70 bar |
| Motores a gás (ex: combustível veicular) | Tratamento completo (umidade , 70 - 80%) | Tratamento completo (H2S < 1000 – 2000 mg/m3) | Tratamento completo | Compressão: 200 bar  Teor energético: 13 – 21 MJ/m3) |

Fonte: Lobato, 2011

### Utilização do biogás

Entende-se por conversão energética o processo que transforma um tipo de energia em outro. Para efetuar essa conversão existem diversas maneiras. No caso da energia elétrica produzida a partir do biogás, a energia química contida nas moléculas de metano é convertida em energia mecânica por um processo de combustão controlada. Essa energia mecânica ativa um gerador que a converte em energia elétrica. As turbinas a gás e os motores de combustão interna do tipo "Ciclo - Otto" é a tecnologia mais utilizada para esse tipo de conversão energética (COELHO et al, 2004).

Outra maneira de aproveitar esse gás é para o uso em veículos automotores, este aproveitamento é centrado na recuperação do gás metano que tem 7.970 Kcal/m3 de poder calorífico, enquanto a gasolina 80 octanas possui 7.000 Kcal/m3. Sendo assim 1,0m3 de metano equivale a 1,1 litros de gasolina (JORDÃO, PESSOA, 2014).

No Brasil estudos demonstram que o uso de metano como fonte alternativa de energia é favorável em veículos de empresas que tratam esgotos ou produzem gás. A eficiência do veiculo é da ordem de 6 Km/m3 de CH4, o que permite uma autonomia diária de 120 Km em viaturas equipadas com dois cilindros de 50 litros, sendo uma economia da ordem de 20 litros por dia de gasolina (JORDÃO, PESSOA, 2014).

Existem outras maneiras para realizar a recuperação e utilização do biogás tais como o uso direto como combustível em caldeiras, fornos e estufas em substituição aos outros tipos de combustíveis de cogeração de eletricidade e calor e Injeção na rede de gás natural (LOBATO, 2011).

# MetodologiA

Para a produção do biogás, será montado um reator UASB em escala piloto, com as seguintes dimensões: diâmetro de x m, comprimento de x m.

O reator será inoculado com lodo proveniente do reator UASB em funcionamento, que trata o esgoto da universidade Feevale, localizada na cidade de Novo Hamburgo. E será alimentado com o esgoto da Universidade Feevale, ele recebera o esgoto na forma bruta.

Para realizar a quantificação do gás produzido será acoplado ao reator um gasômetro do tipo cúpula flutuante, construído em PVC, filtros serão instalados na saída do reator, antes que o biogás entre no gasômetro para reter o H2S, CO2 H2Oe NH3.

Durante produção do biogás será realizado o monitoramento de algumas variáveis a fim de identificar as melhores condições de produção e seus interferentes conforme a tabela 7.

**Tabela 7: Programa de monitoramento de um reator UASB**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Parâmetro | Afluente | Efluente | Gasômetro |
| Produção do biogás | - | - | 2 x por semana |
| Composição do biogás | - | - | 1 x por semana |
| Temperatura | 2 x por semana | - | - |
| pH | 2 x por semana | - | - |
| Ácidos voláteis | Quinzenal | Quinzenal | - |
| DQO total | Quinzenal | Quinzenal | - |
| Nitrogênio total | Mensal | Mensal | - |
| Fósforo total | Mensal | Mensal | - |

Fonte: adaptado de Chernicharo, 2000

A análise de temperatura será realizada na hora da coleta. As analises de pH DQO, ácidos voláteis, nitrogênio e fósforo serão realizadas na Central Analítica da universidade Feevale.

# cronograma

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Etapa/Mês | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 |
| Escolha de um tema de pesquisa | x |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Revisão de literatura (bibliográfica) | x | x |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Definição dos capítulos (sumário preliminar) | x |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Justificativa, objetivos, problematizarão, metodologia | x |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Fundamentação teórica, redação dos capítulos |  | x | x | x |  |  |  |  |  |  |  |
| Montagem do reator |  |  |  | x |  |  |  |  |  |  |  |
| Partida do reator |  |  |  | x | x |  |  |  |  |  |  |
| Coleta de dados |  |  |  |  | x | x | X | x | x |  |  |
| Elaboração da síntese e conclusão |  |  |  |  |  |  |  |  | x | x |  |
| Redação final, revisão linguística, formatação conforme norma ABNT |  |  |  |  |  |  |  |  | x | x |  |

# Bibliografia

AMARAL, Cecília Maria Costa et al. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica**. v.34, n.6. Ciência Rural, 2004.

AZEVEDO, Maurício et al. Coogeração de energia utilizando o biogás do esgoto sanitário. Medianeira: CEFET-PR, 2004.

BARANA, Ana Cláudia. **Avaliação de tratamento de manipueira em biodigestores fase acidogênica e metalgênica.** 2000. 105 f. Tese (Doutorado em agronomia) - Unesp, Bocutapu, SP. 2000.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004. 408 p.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 408 p.

BRASIL. **Inventário de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa**: Informações Gerais e valores Preliminares. 2009. 19 p.

BRASIL. **Inventário de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal**: Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança de Clima. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia. 2010. 276 p.

BRASIL. Ministério da ciência, tecnologia e inovação**. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. 2ª edição. 2014. 168 p.

CARVALHO, João Luis Nunes et al. **Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil.** vol.34, n.2, Rev. Bras. Ciênc. Solo. 2010.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Reatores anaeróbios**. 1. ed. Belo Horizonte, MG: DESA - UFMG, 2000. 245 p.

COELHO, Suani Teixeira et al. **Instalação e testes de uma unidade de demonstração de geração de energia elétrica a partir de biogás de tratamento de esgoto**. An. 5. Enc. Energ. Meio Rural 2004.

CRESPO, Patricio Gallegos. **Elevatórias nos sistemas de esgotos**. Belo Horizonte, MG: UFMG, 2001. 290 p.

FORESTI, E. **Anaerobic treatment of domestic sewage: established technologies and perspectives**. Water Science & Technology, v 45, n.10. 2002.

FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.). **Guia Prático do Biogás**. Geração e Utilização. 2010. 236 p.

HAANDEL, Adrianus Cornelius van et al. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999. 435 p.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. 7. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014. 1087 p.

LARA, Aderlene Inês de et al. **Lodo de esgoto**: tratamento e disposição final. 1. ed. Belo Horizonte, MG: DESA - UFMG, 2003. 483 p.

LORA, Eduardo Silva; VENTURINI, Osvaldo José. **Biocombustíveis**. 2 v. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 2012. 1200 p.

LOBATO, Lívia Cistina da Silva. **Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico**. 2011. 187 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia da UFMG, Belo horizonte, MG, 2011.

MARTINELLI, Alexandre et al. **Esgoto sanitário:** coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola. 2. ed., rev. atual. e ampl. São Paulo, SP: Edgard Blücher. 2011. 565 p.

MORAIS, Marcelo Antonio. **Estudo experimental e avaliação econômica da operação de biodigestores tubulares para a produção de biogás a partir de resíduos da suinocultura.** 2012. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia química) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2012.

NASCIMENTO, Elisamara Caldeira do. **Potencial desnitrificador de estirpes de**

**Bradyrhizobium recomendadas para a cultura da soja**. 2011. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.

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

OLIVEIRA, Arley Borges de Morais. **Biodigestão anaeróbia de efluente de abatedouro avícola.** 2011. 71 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade federal da grande dourados, Dourados, MS. 2011.

PAQUES. Leading in biological wastewater and gas treatment. **Dessulfurização de biogás.** [200-]. Disponível em: <http://br.paques.nl/aplicaces/featured/dessulfurizaco-de-biogas> Acesso em: 05/11/2015.

PIEROTTI, S. M. **Avaliação da partida de reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB), em escala real, sob condições hidráulicas desfavoráveis.** 2007. 156 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP 2007.

PINTO, Erika de Paula Pedro et al. **Perguntas e Respostas sobre Aquecimento Global**. 5ª edição. Belém, Pará, Brasil. 2010. 65p.

RITA, F. et al. **Desempenho de um reator UASB em escala piloto para o tratamento de choume de resíduos sólidos urbanos.** 2002.

SAMAE. **Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)**. [201-]. Disponível em: <<http://www.samaepomerode.com.br/index.php?pg=1078>>. Acesso em: 01/11/2015.

SILVA I.J.S. et al. **Produção de biogás a partir de lodo de esgoto e resíduos sólidos vegetais.** CQB. 54º Congresso Brasileiro de Química. 2014.

TOWNSEND, Colin R.; BEGON, Michael; HARPER, John L. **Fundamentos em ecologia**. 2.ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2006. ix, 592 p.

TREVIZAN, Paula Satiko Fatori. **Produção de biogás por dejetos de suínos em terminação suplementados com ractopamina.** 2013. 55 f. Dissertação (Mestrado em zootecnia) - Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Aquiduana, MS. 2013.

USEPA. **Overview of greenhouse gases**. Washington, D.C. Environmental Protection Agency. 2015.

VALDERÍ, Duarte Leite et al. **Tratamento anaeróbio de resíduos sólidos urbanos mais lodo de esgoto sanitário**. [200-]. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/mexico/03016p04.pdf>> Acesso em: 05/11/2015.