

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

CAMPUS POÇOS DE CALDAS

BACHARELADO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

PROJETO MULTIDISCIPLINAR II

**CONSTRUÇÃO DE UM BIODIGESTOR ANAERÓBICO PARA
RESÍDUOS ORGÂNICOS ALIMENTARES COM ANÁLISE E
CONTROLE DE PARÂMETROS INFLUENCIADORES DA PRODUÇÃO
DE BIOGÁS**

Discentes: Douglas William Jacinto Borges

Fábio Roberto de Assis

Rafael Henrique dos Santos

Orientador: Prof. Dr. Laos Alexandre Hirano

Poços de Caldas 06/2018

RESUMO

O descarte de resíduos sólidos de forma não adequada é algo recorrente que se torna um grande problema para o meio ambiente. Uma maneira de diminuir esse descarte incorreto é a conversão do mesmo em biogás, esse que nos dá a capacidade de reaproveitar uma grande parte desses resíduos através da geração de energia, além de obter também um resíduo que pode ser utilizado como biofertilizante para o cultivo de plantações. Este trabalho tem como principal objetivo, a criação de um biodigestor de baixo custo e que consiga gerar uma quantidade elevada de biogás. Mas para que isso ocorra de maneira exata, será avaliado durante todo o processo o controle ideal de temperatura (que é considerada aceitável entre 30 °C e 35° C), do potencial hidrogeniônico (que fica na faixa de 6 a 8, sendo o ponto ideal um pH igual a 7), e também quais os materiais que seriam mais simples de ser encontrados mas que aumentariam significativamente a efetividade da produção e por fim analisar a quantidade de gás que será gerada. Será necessário também a retirada de gases indesejados afim de aumentar o poder calorífico e aumentar a vida útil do sistema.

Palavras-chave: Biodigestores, Biogás, Resíduos Sólidos, Biofertilizantes.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	3
2.OBJETIVOS.....	4
2.1.OBJETIVO GERAL	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
3. JUSTIFICATIVA	5
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
4.1. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	5
4.2. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: FRAÇÃO ORGÂNICA	6
4.2.1. RESÍDUOS ALIMENTARES	6
4.3. OS PROCESSOS BIOQUÍMICOS ATÉ A METANIZAÇÃO.....	8
4.4.O BIOGÁS.....	9
4.5.A PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS	10
4.5.1. REMOÇÃO DO SULFETO DE HIDROGÊNIO E GÁS CARBÔNICO ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE HIDRÓXIDO DE SÓDIO	11
4.5.2. REMOÇÃO DO SULFETO DE HIDROGÊNIO PELA PASSAGEM DO BIOGÁS EM ÓXIDO DE FERRO	12
4.6. BIODIGESTORES.....	12
4.6.1.TIPOS DE BIODIGESTORES.....	13
4.7. PRINCIPAIS FATORES FÍSICOS E QUÍMICOS QUE INFLUENCIAM A ATIVIDADE BIOLÓGICA NO INTERIOR DO BIODIGESTOR.....	14
5.METODOLOGIA.....	16
6.RESULTADOS ESPERADOS	18
7.CRONOGRAMA.....	18
8.REFERÊNCIAS:.....	19

1. INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial apresentou ao mundo um período de grande industrialização, graças ao fato de o fornecimento de energia ter se tornado maior. Nessa época, não existia preocupação com a origem da energia e com os impactos que seu uso e produção causava. Porém, essa mentalidade vem mudando com o passar do tempo, tornando notável o aumento da preocupação com a sustentabilidade e com novas alternativas limpas para produção de energia.

Outro grande problema que vem ganhando destaque nos últimos anos é o descarte de material orgânico que, em sua maioria, ainda é feito de maneira indevida, como em lixões abertos e aterros sanitários. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2008 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), cerca de 50% do material orgânico tem como destino os lixões a céu aberto. Dessa forma, a matéria orgânica, que possui um grande potencial energético, não é aproveitada da melhor forma.

As principais técnicas para a diminuição do descarte e aproveitamento de resíduos orgânicos são a compostagem, incineração e reciclagem. A compostagem é o processo de tratamento da matéria orgânica por meio de processos físicos, químicos e biológicos para obtenção de uma matéria estável útil na agricultura. Esse processo ocorre naturalmente por meio de micro-organismos presentes no próprio resíduo, mas pode ser acelerado com intervenção humana (BRITO, 2010).

Na incineração ocorre a decomposição térmica do material, resultando em um produto final com menor volume. Além disso, os gases resultantes da exaustão podem ser aproveitados para geração de energia térmica ou elétrica, onde o vapor produzido é expandido em uma turbina (CORTEZ, 2012).

A reciclagem consiste no reaproveitamento de materiais como plástico, alumínio e papéis para a elaboração de novos produtos. É uma técnica extremamente positiva financeiramente e ambientalmente, já que reduz o volume de lixo a ser depositado nos aterros sanitários (DIONYSIO; DIONYSIO, 2014).

Entretanto, o aumento da quantidade de resíduos orgânicos tem sido grande, e as técnicas para diminuição do volume dos mesmos não acompanham este aumento. Com isso, se faz necessário a busca por novos meios de aproveitamento desse material. A destinação desses resíduos para a produção de biogás é uma das ações que minimizam o impacto dos resíduos no meio ambiente além de agregar valor ao próprio (MERCADO, 2010).

Atualmente, a preocupação com o uso de energias renováveis está em alta. Dentro desse contexto, surge o biogás como uma alternativa, uma mistura gasosa combustível, obtido por meio da digestão anaeróbica da matéria orgânica (COELHO, 2006). Segundo Oliveira (2009), o biogás é uma fonte alternativa de energia abundante, não poluidora e barata. Esse gás, composto principalmente de metano, dióxido de carbono e pequenas quantidades de sulfeto de hidrogênio, nitrogênio, hidrogênio e monóxido de carbono, pode ser utilizado para substituir o gás natural, produzindo calor e vapor (BRITES; GAFEIRA, 2007).

Segundo Royo et al. (2011) o principal motivo para o uso do biogás ser viável se deve ao fato de que este pode substituir gases de origem mineral, como o GLP (Gás Liquefeito de Petróleo). Pode substituir também o gás natural (GN) e o gás natural veicular (GNV). Além de substituir gases de origem não renovável, o biogás pode ser usado na geração de energia elétrica. Para isso acontecer, primeiro devemos converter o gás em energia mecânica, para que em seguida, seja transformada em energia elétrica através de um alternador (MORAN, 2002).

Na maioria das possíveis utilizações finais, o biogás deve passar por processos de purificação, onde ocorre a retirada de gases indesejados, como por exemplo CO₂, H₂S, água e entre outros. Esse processo de purificação aumenta o poder calorífico do gás final, além de aumentar a vida útil do local de armazenamento do gás e otimizar a sua eficiência.

2.OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho é a construção de um biodigestor visando o aproveitamento de resíduos sólidos alimentares para a produção de biogás, já que

se trata de uma fonte de energia renovável e limpa, além da alta disponibilidade de substrato.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Produzir de biogás a partir de resíduos alimentares;
- Controlar parâmetros influenciadores na produção (temperatura e pH)
- Construir um filtro de H₂S e verificar sua efetividade;
- Quantificar a quantidade e concentrações do biogás produzido;

3. JUSTIFICATIVA

A finalidade deste projeto é a construção de um biodigestor doméstico sem a necessidade de uso de materiais complexos e com controle de temperatura passivo, ou seja, sem uso de energia elétrica para realizar este controle. Isso facilitará a construção desse biodigestor, que poderá ser feita sem maiores dificuldades, devido ao fato do uso de materiais que podem ser comprados e/ou reaproveitados facilmente.

A escolha deste projeto foi discutida entre os membros e foi concluído que deveríamos fazer algo que tem como objetivo diminuir o descarte de resíduos sólidos de maneira inadequada, já que a degradação de matéria orgânica sem controle adequado prejudica o meio ambiente, então através disso procuramos a melhor maneira de realizar o aproveitamento desses resíduos sem nenhuma degradação ambiental e foi decidido fazer a construção do biodigestor, pois é uma forma de aproveitar e produzir energia através dos mesmos.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Iremos abordar nesta revisão as diversas partes que necessitam ser feitas ou influenciam na produção de biogás em uma faixa ideal. Serão citados alguns diferentes modelos de construção, formas para controle de temperatura e pH, etapas da produção do gás, a purificação e o seu potencial.

4.1. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A partir da revolução industrial, com o começo das produções de objetos de consumo e a criação de novas embalagens, ocorreu um aumento na geração de

resíduos de diversas fontes e características nas áreas urbanas. Conseqüentemente houve um rápido crescimento das cidades e a diminuição das áreas para depositar o lixo, gerando acúmulo de resíduos em locais inadequados poluindo o solo e águas, criando problemas de saúde e aspectos negativos para o meio ambiente (ALMEIDA, 2013).

Atualmente, o montante de lixo produzido anualmente no Brasil é crescente, no ano de 2016 foi de quase 78,3 milhões de toneladas, com um índice de coleta de 91% ou 71,3 milhões de toneladas evidenciando que 7 milhões de toneladas de lixo teve um descarte inapropriado. Ainda deste total que foi coletado, apenas 58,4% foram destinados a aterros sanitários, outros 41,6% que correspondem a 29,7 milhões de toneladas foram enviadas a lixões ou aterros controlados que não possuem medidas de controle e sistemas para evitar possíveis degradações e oferecer uma proteção ao meio ambiente (ABRELPE, 2016).

4.2. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: FRAÇÃO ORGÂNICA

Desse montante, aproximadamente metade do lixo urbano produzido (51,4%) são resíduos orgânicos (BRASIL, 2010). Nos quais são constituídos de restos animais e vegetais que são provenientes de diversas fontes como domésticas, industriais e agrícolas, saneamento, tendo como exemplo restos alimentares, resíduos de indústrias alimentícias, tratamento de esgoto, entre outros.

Segundo Brasil (2016) citado por Rocha (2016) estes resíduos, em áreas naturais adequadas, são espontaneamente degradados reciclando os nutrientes nos ciclos biogeoquímicos, porém, em grande quantidade, apresentam riscos ambientais devido a geração de lixiviado, emissão de gases e possível proliferação de vetores de doenças. Tendo como base esses dados, é imprescindível métodos adequados de gestão e tratamento para estabilização da matéria orgânica.

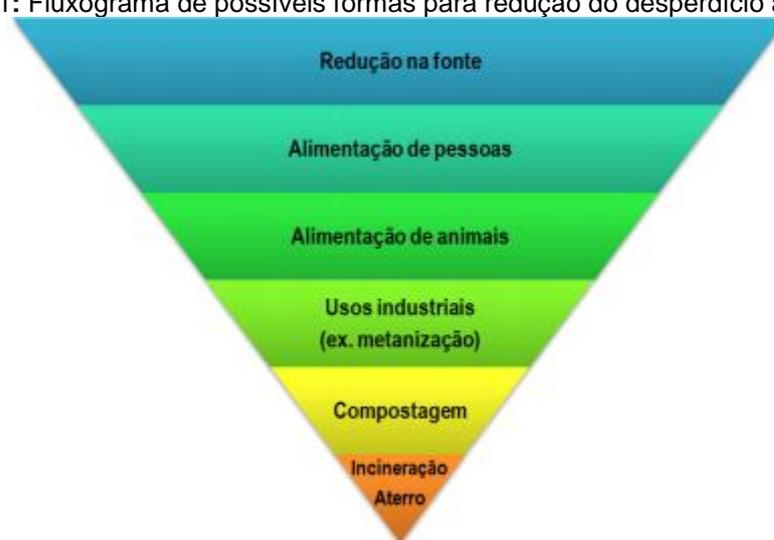
4.2.1. RESÍDUOS ALIMENTARES

Segundo um estudo da *Food And Agriculture Organization* (FAO), a produção anual de alimento seja de 1,3 bilhão de toneladas, estima-se que aproximadamente um terço de todos esses alimentos produzidos seja desperdiçada sem aproveitamento (FAO, 2013). Alimentos que são cultivados e desperdiçados tem custos econômicos e ambientais elevados, são desperdiçados 250 quilômetros

cúbicos de água, a eliminação de grandes áreas e ecossistemas naturais em função da agricultura, cerca de 1,4 bilhão de hectares além de 750 bilhões de dólares gasto com a produção desses alimentos. Com um melhor aproveitamento dos alimentos, não seria necessário um aumento da área a e produção para suprir as demandas futuras (FERREIRA, 2015; FAO, 2013).

O fluxograma de reaproveitamento dos resíduos alimentares, Figura 1, oferece um panorama interessante de ações para um adequado gerenciamento dos resíduos. O aproveitamento dos alimentos, a alimentação de animais são algumas das alternativas desde que estejam de acordo com as legislações de nutrição animal e saúde pública vigente (BRASIL, 2009).

Figura 1: Fluxograma de possíveis formas para redução do desperdício alimentar



Fonte: FERREIRA (2015) adaptado de EPA (2014) e FMI/GMA/NRA (2014).

O reaproveitamento industrial é uma maneira atrativa, o processo de metanização por meio da digestão anaeróbica controlada é uma alternativa viável para tratar e valorizar o resíduo.

Aterros sanitários já são restritos ou proibidos em diversas nações e países (INDIA, 2000; UE, 2009), a incineração não é tão viável devido a umidade presente nas partículas orgânicas e também a emissão de poluentes. A compostagem necessita de grandes áreas de operação, não são tão efetivas quando submetidas a grandes cargas de matéria orgânica e tem uma baixa eficiência energética (FERREIRA, 2015).

Ferreira (2015) ainda informa que uma tonelada de sólidos voláteis produz cerca de 400 metros cúbicos de metano (CH₄) em condições normais de

temperatura e pressão (CNTP). Vale ressaltar que resíduos alimentares possuem apenas 23% de sólidos voláteis em sua composição (LI et al., 2011; BROWNE et al., 2013; ZHANG et al., 2006, 2011, 2013)

4.3. OS PROCESSOS BIOQUÍMICOS ATÉ A METANIZAÇÃO

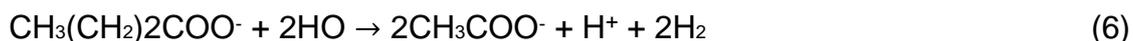
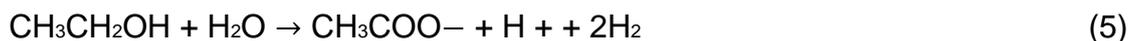
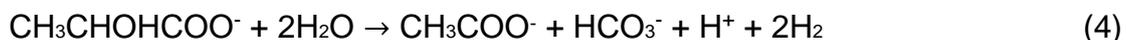
A biodigestão anaeróbica possui 4 etapas principais (BATSTONE e JENSEN, 2011), sendo estas:

Hidrólise: nessa fase ocorre a quebra das moléculas complexas como carboidratos, proteínas e gorduras. Este processo ocorre através de um processo bioquímico, onde enzimas quebram as moléculas complexas, transformando-as em aminoácidos. As principais reações químicas envolvidas na hidrólise estão descritas abaixo (LIU, YAN E YUE, 2011):



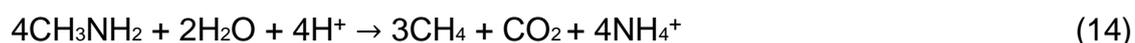
Acidogênese ou fermentação: nesta etapa ocorre a transformação dos produtos da hidrólise (aminoácidos e açúcares) em ácidos orgânicos e álcoois.

Acetogênese sintrófica: ocorre a degradação dos produtos da fermentação em acetatos. Neste processo são utilizados íons de bicarbonato ou de hidrogênio como receptores de elétrons externos. As principais reações envolvidas nessa etapa estão abaixo (LIU, YAN e YUE, 2011):





Metanogênese Acetoclástica: fase onde ocorre a transformação dos acetatos em metano e dióxido de carbono. Cerca de dois terços do metano é formado a partir do ácido acético, enquanto o restante é proveniente do hidrogênio e de moléculas C1 (com apenas 1 carbono em sua composição) (LIU, YAN e YUE, 2011). As principais reações envolvidas estão listadas abaixo:



4.4.O BIOGÁS

Por meio da conversão de biomassa em energia, através da digestão anaeróbica, se obtém o biogás, que além de ser constituído principalmente pelo gás metano (50-80%) obtido na metanização tem se outros gases como dióxido de carbono (20-40%), porém existem outros diversos elementos em menores concentrações em sua constituição, como o ácido sulfídrico (H_2S) e amônia (NH_3), com quantidades mínimas de hidrogênio (H), nitrogênio (N), monóxido de carbono (CO), carboidratos e oxigênios (O) (DEUBLEIN et al, 2008).

Tabela 1: Concentração de gases que constituem o biogás.

Gás	Símbolo	Concentração no biogás (%)
Metano	CH_4	50 – 80
Dióxido de carbono	CO_2	20 – 40
Hidrogênio	H_2	1 – 3
Nitrogênio	N_2	0,5 – 3
Gás sulfídrico e outros	$\text{H}_2\text{S}, \text{CO}, \text{NH}_3$	1 – 5

Fonte: Coldebella,(2006) apud La Farge (1979).

O biogás sem purificação é altamente corrosivo, devido a presença de ácido sulfídrico (H₂S) em sua composição, portanto se faz necessário uso de equipamentos adequados em sua utilização (SALOMON e LORA, 2009). Quando se pretende utilizar esse gás para a produção de energia é necessário retirar o ácido sulfídrico, pois já se sabe que a combustão deste ácido gera SO_x, que é prejudicial à atmosfera e também a saúde humana (BARRERA et al., 2014).

Segundo Oliver (2008), o biogás é um gás com características propícias para a queima e, portanto, é um gás combustível, além de ser renovável, já que sua queima, sem a presença de gás sulfídrico, ocorre de forma limpa. Por isso o biogás já vem sendo utilizado como combustível e fonte alternativa de geração energia. Seu poder calorífico está em uma faixa de 5000-7000Kcal/m³. A tabela a seguir (Tabela 1) compara o biogás com outros combustíveis:

Tabela 2: Equivalência entre o biogás e outros combustíveis comumente utilizados

Combustível (t = 25°C; P = 1 atm)	Volume equivalente a 1 m ³ de biogás (t = 25°C; P = 1 atm)
Querosene	0,342 L
Lenha (10 % de umidade)	1,450 kg
GLP	0,396 L
Óleo diesel	0,358 L
Gasolina	0,312 L

Fonte: ProSab (2003).

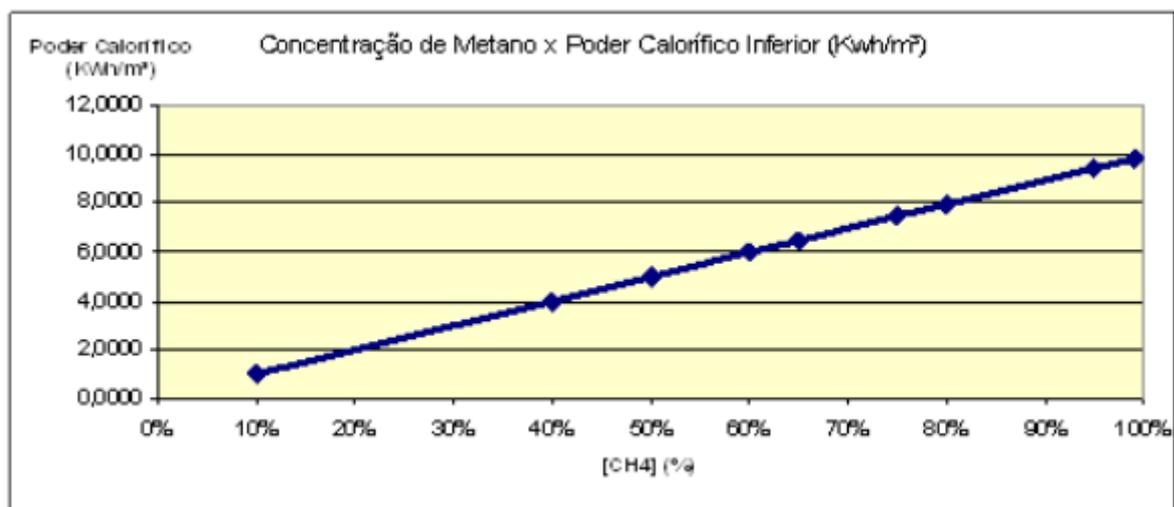
Outra grande importância do biogás produzido com o aproveitamento dos resíduos sólidos orgânicos, é controle das emissões de metano diretamente na atmosfera, que é um gás extremamente poluente, cerca de vinte e cinco vezes mais do que o gás carbônico (REIS, 2012).

4.5.A PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS

Para um biogás com um maior poder calorífico, é necessária uma purificação para a remoção do CO₂, H₂S e vapor de água, além de que diferentes aplicações finais necessitam de diferentes graus de remoção dos gases indesejáveis.

Quanto menor a quantidade de impureza, maior o potencial calorífico do biogás, ou seja, um biogás com maior concentração de metano tem um poder calorífico mais elevado do que um não purificado (PECORA, 2006).

Figura 2: Gráfico da Concentração de metano x Poder calorífico



Fonte: Moura (2011) apud Borges et. al. (2015).

Os fatores que fazem com que a remoção do ácido sulfídrico seja necessária são odores no gás final, toxicidade na queima do biogás e o principal problema que atrapalha a viabilização de armazenamento, transporte e utilização do biogás é a corrosão que o H₂S provoca (HASS, 2013).

Existem diversas formas de se fazer a purificação, a preferência por cada uma das opções disponíveis depende da quantidade de gás que vai ser produzido, a utilização final e da quantidade de investimento. Abaixo serão mostrados dois possíveis métodos de purificação muito eficientes e de baixo custo de instalação.

4.5.1. REMOÇÃO DO SULFETO DE HIDROGÊNIO E GÁS CARBÔNICO ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE HIDRÓXIDO DE SÓDIO

Quando o gás carbônico entra em contato com o hidróxido de sódio tem a formação de bicarbonato, de forma irreversível como mostra as reações 15 e 16. Se ainda houver tempo suficiente o sulfeto de hidrogênio também reagirá conforme a reação 17 (CRAVEIRO apud PRATI, 2010).





Ainda segundo Craveiro apud Prati (2010), pode se utilizar outros hidróxidos, como o de potássio e o de cálcio, sendo este último o mais barato, porém a utilização dele gera a precipitação de carbonato de cálcio, o que pode gerar problemas como o entupimento de equipamentos.

4.5.2. REMOÇÃO DO SULFETO DE HIDROGÊNIO PELA PASSAGEM DO BIOGÁS EM ÓXIDO DE FERRO

Este procedimento de purificação consiste em passar o biogás em um filtro preenchido com lascas de madeira cobertas por pó de ferro oxidado (Fe_2O_3). O gás sulfídrico é perdido durante a passagem, reagindo com o óxido de ferro no interior do filtro e ficando retido no mesmo. É um processo de baixo custo, por isso muito utilizado (HASS, 2013). A reação 18 explica a retenção do H_2S :



Outro ponto positivo deste processo de purificação é a regeneração do óxido de ferro saturado por enxofre utilizando o oxigênio, descrita na reação 19:



4.6. BIODIGESTORES

A forma mais comum para obtenção do biogás se dá através do biodigestor, equipamento formado por um recipiente vedado, envolto por material impermeável, onde se acrescenta água e matéria orgânica para que se produza o biogás através da digestão anaeróbica (DEGANUTTI et al., 2002).

A escolha da melhor tecnologia a ser empregada depende das características do substrato a ser utilizado, como a quantidade de sólidos voláteis e a impureza, além dos objetivos de tratamento, que podem demandar uma higienização do substrato (PROBIOGÁS, 2015).

Para casos onde não se pretende realizar a separação das impurezas do substrato, recomenda-se a utilização da digestão seca, por ser menos sensível à presença de impurezas. Em casos onde será feita a separação, pode-se utilizar a digestão úmida (PROBIOGÁS, 2015).

Segundo Ferreira (2015), uma tonelada de sólidos voláteis produz cerca de 400 metros cúbicos de metano (CH₄) em condições normais de temperatura e pressão (CNTP). Vale ressaltar que resíduos alimentares possuem apenas 23% de sólidos voláteis em sua composição (LI et al., 2011; BROWNE et al., 2013; ZHANG et al., 2006, 2011, 2013)

4.6.1. TIPOS DE BIODIGESTORES

Existem diversos modelos de biodigestores atuais, agrupados em duas principais formas de funcionamento que são:

O biodigestor contínuo, que é caracterizado pela colocação de matéria orgânica de forma regular e constante nos reatores, mas para que uma nova quantidade de resíduos seja colocada no reator, a parte que estava sendo tratada precisa ser retirada do biodigestor. Segundo Reis (2012), esse sistema apresenta como desvantagem a possibilidade de parte do resíduo, que é removido continuamente do digestor, não se encontrar completamente estabilizado.

Esse fator pode acontecer caso o biodigestor não seja construído de maneira exata ou caso o tempo para o processo de biodigestão seja interrompido. Outra característica do sistema de biodigestão contínua é que a matéria orgânica que é colocada para produção do gás precisa ser diluída, para um melhor aproveitamento de matéria também pode ser triturado, para que não haja entupimento e formação de crostas no interior do biodigestor.

Diferente dos contínuos, os biodigestores descontínuos ou a batelada são operados apenas uma vez durante o período de produção de gás. Após colocar toda matéria orgânica necessária para o processo no biodigestor, o mesmo é fechado completamente, evitando a saída e entrada de oxigênio por um período de tempo.

Além de ambas as formas de utilização, a introdução de inóculos no meio tem mostrado resultados satisfatórios, uma vez que promove a diminuição do tempo

necessário para a bioestabilização anaeróbia dos resíduos, já que contribui para a melhora da densidade microbiana (PROSAB, 2003). Esses inóculos acrescentados contribuem para a aceleração das atividades biológicas e geralmente são colocados em temporadas frias. Exemplos de inóculos são o lodo de esgoto e estrume bovino.

A biodigestão descontínua é mais fácil de manusear. Sistemas em batelada são mais simples e de pequena exigência operacional, sendo mais indicados para locais onde a disponibilidade de substrato ocorre em longos períodos, por esse motivo a produção de biogás não ocorre diariamente (BONTURI e VAN DIJK, 2012). Só após o fim da produção de biogás e a retirada do mesmo, há uma troca de matéria orgânica no biodigestor, que dará início a um novo processo.

4.7. PRINCIPAIS FATORES FÍSICOS E QUÍMICOS QUE INFLUENCIAM A ATIVIDADE BIOLÓGICA NO INTERIOR DO BIODIGESTOR

Para uma produção elevada de biogás é necessário manter alguns parâmetros estabilizados, sem essa estabilização a produção pode ser restrita ou até mesmo interrompida. Esses parâmetros são:

- **Temperatura:** é um fator de extrema importância no desempenho do biodigestor, quanto maior a temperatura, melhor e mais rápida será a reação entre as bactérias, resultando em uma melhor eficiência na produção do biogás.

Segundo Castro e Cortez (1998), o processo pode ocorrer em uma faixa de temperatura que varia de 10 °C a 60 °C, dependendo dos microrganismos que estarão atuando. As bactérias criofílicas agem na faixa inferior a 20 °C, as mesofílicas agem na faixa de 20 °C a 45 °C e as termofílicas atuam entre 45 °C e 60 °C.

A faixa ideal para otimizar a digestão anaeróbia dentro da faixa mesofílica varia entre 30 a 35 °C, temperatura essa que favorece as bactérias uma melhor atividade, mas isso não evita a produção do biogás em temperaturas inferiores, porém sua quantidade de gás em relação ao tempo será mais lenta. (SINGH,1994; TIETZ, 2013).

Segundo Isoldi (2001) os micro-organismos não possuem meios de controlar a sua temperatura interna que é determinada pela temperatura ambiente externa.

Um ponto que necessita de atenção são as variações bruscas de temperatura, pois as bactérias responsáveis pela biodigestão são totalmente sensíveis a esse fator, podendo levar a morte da maioria das bactérias.

Os principais processos físicos responsáveis por variações de temperaturas são a condução que se trata do estado em que um corpo pode modificar seu estado físico através de um outro condutor de energia térmica, mesmo não estando em contato direto com o mesmo. A energia do corpo que transmite calor passa para o outro através de agitação das moléculas de maior temperatura, fazendo com que a mesma mude sua energia. Outro processo é a convecção, que ocorre pela diferença de densidade entre corpos, mais usada entre líquidos e gases. Se um corpo está com a temperatura menor que o outro, há uma troca de lugar entre os mesmos, uma corrente de convecção entre os corpos é formada através das diferenças entre densidades, fazendo com que o calor se espalhe por todo o corpo. Por fim temos a radiação que é uma forma de transferência de calor através de propagação de ondas eletromagnéticas, ou seja, dois corpos não precisam estar em contato um com o outro para que haja a mudança de calor entre os mesmos, essas ondas podem ser transmitidas a vácuo ou através de um meio qualquer. Essa radiação sofre variação tanto em quantidade quanto em qualidade, mas nem toda energia que é transmitida é recebida, pois a mesma pode ser refletida.

- O pH (potencial hidrogeniônico): é um índice que demonstra a acidez ou a alcalinidade da mistura. Em Biodigestores, a faixa ideal de operação está entre um pH de 6,00 a 8,00, sendo o ponto ideal necessariamente 7,00 (MAZZUCCHI, 1980; FILHO, 1981). Valores inferiores a essa faixa podem ocasionar queda na produção de biogás, podendo causar a paralisação na produção de metano abaixo de um pH igual a 6,00 (MAZZUCCHI, 1980).

Segundo Vitorrato (1990), a faixa ideal de pH para a transformação de proteína em aminoácidos é de 7,00 a 7,50, e a conversão desses aminoácidos em ácidos ocorre idealmente em 6,30. Para as bactérias acidogênicas a faixa ideal de pH é de 5,5 a 6,0, já as metanogênicas ocorrem numa faixa de 6,80 a 7,20. Caso a produção de bactérias acidogênicas seja maior que as metanogênicas e o meio não se encontre suficientemente alcalino, poderá ocorrer a acidificação do meio, prejudicando a formação do gás metano (Souza, 1984; Metcalf, 2003).

Durante o funcionamento do biodigestor, poderá ocorrer a necessidade de correção de pH do substrato. Para aumentar a alcalinidade do meio, é necessário usar corretivos básicos, como o hidróxido de sódio (NaOH) ou o bicarbonato de sódio (NaHCO₃).

Segundo Granato (2003), outro fator que tende a aumentar o pH é a formação de amônia a partir do consumo das proteínas. Em controvérsia, o bicarbonato age de modo a estabilizar o meio, pois a concentração de bicarbonato é diretamente proporcional ao teor de dióxido de carbono e ao pH do meio. Então, se as bactérias acidogênicas forem produzidas em maior quantidade, o dióxido de carbono liberado aumentará o teor de bicarbonato, impedindo a diminuição do pH e funcionando como um efeito de tamponamento, fundamental para o funcionamento do biodigestor.

- Umidade ou teor de água: a faixa de umidade no biodigestor deve variar entre 60% a 90% da mistura total inserida, os biodigestores que operam próximo de 90% são de baixo teor de sólidos totais, em contrapartida os que operam próximos a 60% são biodigestores com alto teor de sólidos totais (PROSAB, 2003).

5.METODOLOGIA

Materiais e métodos:

Segundo Silvia e Kemp (2010) citado por Martins et al (2013), o volume útil de um reator de biodigestor é de 70% do volume total. Será utilizado um recipiente com capacidade de 20 litros para ocorrência do processo de biodigestão, com volume útil de 14 litros. Para construção do encanamento do gás, será utilizado canos de policloreto de vinila (PVC) ou tubulações de metal.

Para o controle de temperatura será realizado um experimento para determinar a viabilidade da implantação de uma camada de alumínio envolto ao recipiente onde ocorrerá a biodigestão. Tal experimento será realizado através do registro da temperatura durante um período de tempo por meio de um Arduino, onde será analisado a variação da temperatura de dois sistemas, sendo um deles um béquer com 200ml de água sem o alumínio envolvendo o sistema com temperatura inicial de 60°C, e o outro um béquer com 200ml de água envolto com alumínio

também com temperatura inicial de 60°C. Os dados coletados serão colocados em gráficos e analisados para constatar se o alumínio contribui para a manutenção da temperatura do sistema. Além disso, será colocado uma camada de espuma ao redor do recipiente para diminuir perdas de calor por condução e por fim será colocada uma lona preta envolvendo o sistema para aumentar a absorção de radiação. Será acoplado ao sistema um termômetro para o monitoramento de temperatura, que serão anotadas diariamente.

Já se tratando do controle de pH, será realizada uma mistura do material orgânico com bicarbonato de sódio (NaHCO_3). Após análise do pH inicial dos resíduos alimentares, será realizado o cálculo da massa necessária de bicarbonato de sódio para neutralizar o pH da mistura. Além disso, será misturado ao substrato o biofertilizante (resíduo orgânico obtido após a biodigestão), em uma proporção de 1:4. O pH do meio será registrado diariamente e medido através de um pHmetro.

Os resíduos sólidos serão coletados na residência dos próprios integrantes do grupo.

Será realizado a purificação do biogás, ou seja, a retirada de H_2S através de um filtro. A purificação acontecerá através do borbulhamento do gás em uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) utilizando uma pedra porosa para aumentar a superfície de contato do gás com a solução aquosa em um recipiente hermeticamente fechado com aproximadamente 3 litros de capacidade. Para a verificação se o filtro está saturado será adicionado a solução de hidróxido de sódio um indicador ácido-base, como a fenolftaleína ($\text{C}_{20}\text{H}_{16}\text{O}_4$), que manterá a solução com coloração rosa enquanto ainda existir NaOH disponível para reagir com o CO_2 e o H_2S .

O biogás final será armazenado em câmaras de ar de volume conhecido, para que seja feita a contabilização da quantidade de gás produzido.

Os dados anotados de pH, temperatura e quantidade de gás serão analisados através de gráficos para determinar a eficiência da produção do biogás e verificar como o pH e a temperatura interferem no processo de biodigestão, os dados da

remoção das impurezas também serão analisados e utilizados para a determinação do poder calorífico do biogás obtido.

6.RESULTADOS ESPERADOS

A partir da construção do biodigestor esperamos que o método utilizado para o tamponamento da mistura cumpra com o propósito de estabilizar em uma faixa de pH ideal para que ocorra a metanogênese utilizando o bicarbonato de sódio para criar um efeito tampão. Ainda em relação ao controle de parâmetros físicos e químicos esperamos que os métodos utilizados para minimizar variações bruscas de temperatura causadas por condução, convecção e radiação funcionem da maneira esperada.

Em relação a purificação do biogás com a utilização do filtro químico esperamos que ocorra a diminuição da quantidade de H₂S e CO₂ para a obtenção de um biogás que não danifique por corrosão os equipamentos que serão abastecidos e que tenha um teor elevado de CH₄, conseqüentemente com um potencial calorífico maior. Outro resultado esperado do filtro é a remoção do odor desagradável do enxofre no produto final.

Espera-se que com o abastecimento do biodigestor com 2,04Kg de matéria orgânica em um dia, sendo essa a média diária de produção de lixo orgânico de uma família composta por quatro indivíduos ocorra em um pico máximo a produção de 0,374 m³ de biogás com uma porcentagem mínima de 50% de metano (0,187m³) e uma porcentagem máxima de 5% de ácido sulfídrico (0,0187m³), dados que serão obtidos anteriormente a filtragem.

7.CRONOGRAMA

Períodos	ETAPAS				
	Revisão bibliográfica	Metodologia	Construção protótipo	Análise resultados	Apresentação
2018/1	X	X			
2018/2			X		
2019/1				X	X

8.REFERÊNCIAS:

- ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. **Abrelpe**. 2016. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2018.
- ALMEIDA, R.N. et. al. A Problemática dos Resíduos Sólidos. **Interfáces Científicas - Saúde e Ambiente**. Aracaju, v. 2, n. 1, p. 25-36, out 2013.
- BARRERA, E. L.; SPANJERS, H.; DEWULF, J.; ROMERO, O.; ELENA, R. The sulfur chain in biogas production from sulfate-rich liquid substrates: a review on dynamic modeling with vinasse as model substrate. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v.88, p.1405-1420, 2014.
- BATSTONE, D. J.; JENSEN, P. D. Anaerobic Processes. The University of Queensland, Brisbane, Elsevier B.V., Australia, 2011.
- BONTURI, G. de L.; VAN DIJK, M. Instalação de biodigestores em pequenas propriedades rurais: análise de vantagens socioambientais. **Revista Ciências do Ambiente Online**, v. 8, n. 2, p. 88-95, 2012.
- BORGES, A. C et. al. **Remoção de gás sulfídrico do biogás produzido a partir de dejetos suínos**. Trabalho de Conclusão de Curso, Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2015.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Lei n. 11445 05 de janeiro de 2007. Institui o Plano Nacional de Saneamento Básico. **Diário Oficial da União**. Brasília-DF. 2013.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Lein. 12305 02 de agosto de 2010. Altera a lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília-DF, 2010.
- BRITES, O.; GAFEIRA, T. **Biogás**. 2007. Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2007.
- BRITO, L. R. Uso de Resíduos Sólidos Urbanos na Produção de Flores e Plantas Ornamentais. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, vol 3, n. 2, 2010.

BROWNE, J. D.; MURPHY, J. D. Assessment of the resource associated with biomethane from food waste. **Appl. Energy**, v 104, p. 170-177. 2013.

CASSINI, S. T. Programa de Pesquisas em Saneamento Básico: Rede Cooperativa de Pesquisas/ Digestão Anaeróbia de Resíduos Orgânicos e Aproveitamento de biogás. **PROSAB**, 2003.

CASTRO, L.R.; CORTEZ, L.A.B. Influência da temperatura no desempenho de biodigestores com esterco bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 97-102, Jan/abr 1998.

CODEBELLA, A. et. al. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bovinocultura de leite. Proceedings of the 6. In: Encontro de Energia no Meio Rural. 2006.

COELHO, S. T. et al. Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto. In: Congresso Brasileiro de Energia. Rio de Janeiro, 2006.

CORTEZ, C. L. Resíduos como alternativa de solução energética. In: VIII Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Porto Alegre, 2012.

DEGANUTTI, R. et. al. **Biodigestores rurais**: modelo indiano, chinês e batelada. Proceedings of the 4th. In: Encontro de Energia no Meio Rural. 2002.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A.; **BIOGAS from Waste and Renewable Resources**. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, p. 340-341, 2008.

DIONYSIO, L. G. M; DIONYSIO, R. B. **Lixo Urbano: Descarte e reciclagem de materiais**. PUC-RIO. Rio de Janeiro: 2014.

FAO, Food and Agriculture Organization. Food wastage footprint: Impacts on natural resources. **Organization of the United Nations**. Itália, Roma, p. 63, 2013.

_____. Global food losses and food waste: Extent, causes and prevention. **Organization of the United Nations**. Itália, Roma, 2011.

FERREIRA, B. O. **Avaliação de um sistema de metanização de resíduos orgânicos alimentares com vistas ao aproveitamento energético do biogás**, f. 124. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.

FILHO, J. A. C. Biogás, independência energética do Pantanal Matogrossense. **Embrapa**. Corumbá, n. 9, p. 53, 1981.

GRANATO, E. F. **Geração de Energia Elétrica pela Biodigestão Anaeróbica da Vinhaça**. Tese (Mestrado), Faculdade de Engenharia – Universidade Estadual Paulista, 2003.

HASS, L. B. **Desenvolvimento de um filtro para remoção de H_2S de biogás**. Dissertação (Pós - Graduação em energia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná, 2013.

INDIA. The Indian Municipal Solid Waste (Management and Handling) Rules INDIA, G. O. Nova Deli. 2000.

ISOLDI, L. A.; KOETZ, P. R.; FARIA, O. L. V.; ISOLDI, L. Parâmetros de operação do reator UASB em um sistema combinado reator UASB reator aeróbio. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 6. 2001.

LA FARGE, B. Le Biogaz - Procèdes de Fermentation Méthanique. Paris, Masson, 1979.

LI, Y. et al. Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. **Renew. Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 821-826, 2011.

LIU, X; YAN, Z; YUE, Z. B. **Comprehensive Biotechnology: Biofuels and Bioenergy | Biogas**. In: Murray Moo-Young (ed.) 2. ed. Elsevier, v. 3, p. 9-114, 2011.

MARTINS, D. B. N. et al. **Biodigestão de resíduos sólidos**. Dissertação (Graduação). Universidade Federal de Alfenas, Unifal. Poços de Caldas, 2013.

MAZZUCCHI, O. A. J. Biodigestor rural. **CESP**. São Paulo, p. 29, 1980.

MERCADO, A. G. **Remoção de sulfeto de hidrogênio de biogás em instalação piloto com óxido de ferro** Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

METCALF, A.; EDDY, M. S. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2003. 1819 p.

MORAN, M. J; SHAPIRO, H. N. **Princípios da Termodinâmica para Engenharia**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

OLIVEIRA, R. D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbica de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono**. Trabalho de Conclusão de Curso, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

OLIVER, A. P. M. et al. **Manual de treinamento em biodigestão**. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/3948560-Manual-de-treinamento-em-biodigestao.html>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto residencial da USP – Estudo de caso**. 2006, Dissertação (Mestrado em Energia) - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, São Paulo. 2006.

PNSB. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008). **IBGE**. Rio de Janeiro, 2009.

PRATI, L. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

PROBIOGÁS. Projeto Brasil: Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil. **PROBIOGÁS**. Ministério das Cidades, Brasília, 2015.

REIS, A. S. **Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio**. **Dissertação de Mestrado**, f. 79 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

ROCHA, Camila. **Proposta de implantação de um biodigestor anaeróbio de resíduos alimentares**. 150 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

ROYA, B. Biogás – uma energia limpa. **Revista Eletrônica Novo Enfoque**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 13, p. 142 – 149, 2011.

SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S. Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. **Biomass and Energy**, v. 33, p. 1101-1107, 2009.

SINGH, R; ANAND, R. C. Comparative performances of Indian small solid-state and conventional anaerobic digesters. **Bioresource Technology**, p. 235-238. 1994.

SOUZA, M. E. Fatores que influenciam a digestão anaeróbia. **Revista DAE**, v. 44, p. 88-94, 1984.

TIETZ, C. M. **Influência da temperatura na produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura de leite**. 2013. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Biocombustíveis) – Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2013.

UNIÃO EUROPÉIA. Decreto-Lei n.º 183/2009 de 10 de Agosto. Transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 1999/31/CE, do Conselho, de 26 de Abril, relativa à deposição de resíduos em aterros, alterada pelo Regulamento (CE) n.º 1882/2003, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de Setembro, e aplica a Decisão n.º 2003/33/CE, do Conselho, de 19 de Dezembro de 2002. UE, 2009.

VITORATTO, E. **Estudo comparativo entre o reator contínuo convencional e o reator contínuo com reciclo interno de sólidos, no tratamento de lodo adensado de esgoto pelo processo de digestão anaeróbia**. São Paulo, 1990. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, 1990.

ZHANG L, LEE YW, JAHNG D. Anaerobic co-digestion of food waste and piggery wastewater: focusing on the role of trace elements. **Bioresource Technology**, v.102, p. 5048–5059. 2011.

ZHANG, C; SU, H.; TAN, T. Batch and semi-continuous anaerobic digestion of food waste in a dual solid–liquid system. **Bioresource Technology**, v.145, p. 10–16. 2013.

ZHANG, R. et al. Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. **Bioresource Technology**, v.98, p. 929–935. 2006.