

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO – EIXO TECNOLÓGICO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

FELIPE JOSÉ DOS SANTOS OLIVEIRA

**Estimativa da Capacidade de Produção de Biogás e Energia Elétrica Através de
Despejos de Suinocultura Tratados em Biodigestor Anaeróbio**

DELMIRO GOUVEIA - AL

2019

FELIPE JOSÉ DOS SANTOS OLIVEIRA

Estimativa da Capacidade de Produção de Biogás e Energia Elétrica Através de Despejos de Suinocultura Tratados em Biodigestor Anaeróbio

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Campus Sertão, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof.º Dr. Antônio Pedro de Oliveira Netto

DELMIRO GOUVEIA - AL

2019

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza – CRB-4/2209

O48de Oliveira, Felipe José dos Santos

Estimativa da capacidade de produção de biogás e energia elétrica através de despejos de suinocultura tratados em biodigestor anaeróbio / Felipe José dos Santos Oliveira. - 2019.

50 f. : il.

Orientação: Prof. Dr. Antônio Pedro de Oliveira Netto.
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas.
Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2019.

1. Digestão anaeróbia. 2. Biogás. 3. Resíduo animal. 4. Suinocultura.
I. Oliveira Netto, Antônio Pedro de. II. Universidade Federal de Alagoas.
III. Título.

CDU: 628.21

FELIPE JOSÉ DOS SANTOS OLIVEIRA

Estimativa da Capacidade de Produção de Biogás e Energia Elétrica Através de Despejos de Suinocultura Tratados em Biodigestor Anaeróbio

Trabalho de conclusão de curso submetido a banca examinadora do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, Campus do Sertão e aprovado dia 12 de dezembro de 2019.

Antonio Netto

Prof.º Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto (Orientador)

Banca examinadora:

Antonio Netto

Prof.º Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto (Orientador)

Francisco Aureliano R. de Vasconcelos Teixeira

Eng. Francisco Aureliano Rocha de Vasconcelos Teixeira (Examinador interno)

Rafael Santos Carvalho

Eng. Rafael Santos Carvalho (Examinador externo)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela a oportunidade de ingressar na universidade e proporcionar tantas graças em minha vida, como também ter colocado pessoas maravilhosas em meu caminho.

Agradeço a meus pais José Euclides e Claudineide, que são os principais responsáveis pela minha educação, em que sempre incentivaram e mostraram o caminho certo a ser seguido e por serem sempre meus pilares nos bons e maus momentos.

Aos meus irmãos Bruno, Lucas e Tiago por estarem sempre ao meu lado e torcerem por mim, em especial ao Tiago por ter acompanhado minha trajetória em Delmiro Gouveia durante quase toda a graduação.

A todos os meus familiares que torceram por mim, em especial a minha Avó Vandete que, infelizmente, hoje não se encontra mais entre nós, mas contribuiu muito para minha formação, sempre me incentivando nas idas e vindas a Delmiro.

A minha companheira Maria Klara pela paciência, companheirismo e por ter sido fonte de incentivo e apoio nessa reta final, principalmente, na elaboração deste trabalho.

Aos amigos de faculdade, que foram fundamentais na luta diária durante a graduação, em especial: Tiago, Jorge, Olavo, Iago, Ricardo, Welton, Danilo, Juliano, Ulisses, Gutierrez, Igor e Clébio.

Ao meu orientador, Antônio Pedro de Oliveira Netto por toda paciência e dedicação, que se transformaram em ensinamentos ao longo desse trabalho, bem como nas disciplinas ministrada por ele.

RESUMO

A suinocultura é uma atividade de grande importância para a economia do Brasil, entretanto, é uma atividade de grande poder poluidor, pois a criação gera grandes volumes de efluente possuindo característica de elevada carga orgânica, que quando não recebem tratamentos adequados são descartados na natureza sobre o solo e em mananciais de água acarretando inúmeros problemas ambientais. Dessa forma, surge então a necessidade de aprimorar os métodos de tratamento, como o biodigestor, que além da vantagem de tratar o efluente, o biogás gerado no processo é captado minimizando a incidência de metano na atmosfera, podendo ser utilizado na própria criação para aquecer os leitões na creche e na geração de energia elétrica através de um motor gerador. O presente trabalho tem como objetivo fazer uma estimativa teórica do potencial de produção de biogás no sistema de tratamento existente em um empreendimento de suinocultura, abastecido pelos dejetos de uma média de 3000 suínos em fase de terminação e localizado no município de Limoeiro de Anadia – AL. A produção teórica de biogás por estimativa de DQO removida apresentou um rendimento médio de 77,72 m³/d no biodigestor. Com o estudo verificou-se que para esta produção de biogás, com a instalação de um motor-gerador a granja teria uma capacidade de produção mensal de energia elétrica de 5478,63 kWh/mês que levando em consideração a média brasileira de consumo elétrico poderia abastecer aproximadamente 36 residências.

Palavras chaves: Resíduo animal, suinocultura, digestão anaeróbia, captação de biogás, geração de energia elétrica.

ABSTRACT

Pig farming is an activity of great importance for the Brazilian economy, nevertheless, it is an activity of elevated polluting power, since the pig breeding generates large volumes of effluent containing high organic load, which when they do not receive proper treatments are discarded in nature over the soil and water sources causing several environmental problems. Thus, comes the necessity of improving the treatment methods, such as the biodigester, because besides the advantage of treating the effluent, the biogas created in the process is collected therefore mitigating the incidence of methane in the atmosphere, being able to be used in the pig breeding for the purpose to heat the pigs in the fast growing phase and in the generation of electricity through a generator motor. The present research aims to develop a theoretical estimate of the potential of biogas production in the treatment system existing in a pig farming, supplied by the waste of an average of 3000 pigs in finishing phase and located in the county of Limoeiro de Anadia - AL. The theoretical production of biogas by estimation of biochemical oxygen demand (BOD) removed presented an average yield of $77,72 \text{ m}^3/d$ in the biodigester. The present thesis checked that for this theoretical production of biogas and for the installation of a generator motor, the farm would have a capacity of 5478.63 kWh/month, which taking into account the Brazilian average of electric consumption, could supply approximately 36 residences.

Keywords: Animal waste, pig farming, anaerobic digestion, biogas collection, electric power generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama esquemático da digestão Anaeróbia.	18
Figura 2 - Localização do município de Limoeiro de Anadia no cenário estadual	29
Figura 3 - Baias dos suínos em fase de terminação e engorda	30
Figura 4 - locação da granja e manancial do riacho	30
Figura 5 - Sistema de tratamento do criatório de suínos	31
Figura 6 - Separador de sólido instalado na ETE	31
Figura 7 - Biodigestor em operação na granja.	32
Figura 8 – Queimador de biogás	33
Figura 9 - Fluxograma da ETE da granja de suínos.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios comparados aos aeróbios.....	17
Tabela 2 - Comparativo da produção de biogás em biodigestor alimentado por cama de aviário e manipueira	26
Tabela 3 - Características físico-químicas de dejetos de suínos segundo alguns autores	36
Tabela 4 - Produção unitária para cada categoria de suínos	38
Tabela 5 - Valor médio para concentração de DQO em dejetos de suinocultura.....	39

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

AL	Alagoas
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
ETE	Estação de tratamento de esgoto
NMP	Número mais provável
Ph	Potencial hidrogeniônico
SF	Sólidos fixos
ST	Sólidos totais
SV	Sólidos voláteis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
C°	Grau Celsius
CH_4	Metano
CH_3COOH	Ácido etanoico
cm	Centímetros
CO_2	Dióxido de carbono
CO_3	Trióxido de carbono
H_2O	Água
d	Dia
$FeSO_4 \times 7H_2O$	Sulfato de ferro
g	Grama
h	Hora
hab	habitantes
H_2	Hidrogênio molecular
H_2O	Água
H_2S	Sulfato de Hidrogênio
Km	Quilômetro
Kw	Quilowatts
L	Litro
mol	Moléculas
mm	Milímetros
m	Metros
mL	Mililitros
$MnSO_4 \times 4H_2O$	Sulfato de manganês

N_2	Nitrogênio
NH_3	Amoníaco
NH_4^+	Amônio
$NiSO_4 \times 6H_2O$	Sulfato de Níquel
v/v	Volume de inóculo por volume de reator
W	Watts
Δ	Relação entre valores

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVOS GERAIS	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	TRATAMENTO ANAERÓBIO	16
3.2	BIODIGESTORES	21
3.3	GERAÇÃO DE BIOGÁS	24
4	METODOLOGIA	29
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO CRIATÓRIO	29
4.2	ESTIMATIVA DA VAZÃO DE AFLUENTE	34
4.3	ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE METANO	34
4.4	ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE BIOGÁS	35
4.5	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DOS DEJETOS DE SUÍNOS	36
4.6	ESTIMATIVA DE POTENCIAL ELÉTRICO DA GRANJA	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1	ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE METANO	38
5.1.1	Estimativa da vazão afluyente da ETE	38
5.1.2	Estimativa da produção de Metano	38
5.2	ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE BIOGÁS	41
5.3	ESTIMATIVA DO POTENCIAL ELÉTRICO	41
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

A suinocultura é uma atividade de grande importância socioeconômica, responsável por grande geração de emprego em várias regiões do Brasil. Contudo, deve ser bem administrada porque é considerada uma atividade de alto poder poluidor e possui grande quantidade de elementos contaminantes em seus efluentes que, com a criação expansiva tem seu poder poluidor maximizado (VIVAN *et al.*, 2010).

O atual cenário da suinocultura tem como característica evidente e comum o modelo intensivo que tem alta concentração de animais em pequenas áreas. A consequência dessa atividade é o comprometimento da qualidade ambiental, em que pode haver a contaminação de águas, solos e interferência na qualidade do ar com a emissão de odores e proliferação de insetos que gera riscos e desconforto a população (BARRETO; CAMPOS, 2009)

Para Diesel *et al.* (2002), os resíduos de suinocultura quando comparados com dejetos de outras espécies tem capacidade poluente muito superior, e quando se utiliza o conceito de equivalente populacional a capacidade poluente dos dejetos de suíno, equivale em média a: 3,5 pessoas. A principal causa da poluição gerada por esse setor é o lançamento indevido dos efluentes sem tratamentos nos cursos d'água, que ocasiona problemas por conta de alterações como: a redução do teor de oxigênio, contaminação das águas com nitrato, amônia entre outros componentes tóxicos e, corroborando com uma possível disseminação de patógenos.

Portanto, é necessário o investimento em pesquisas e tecnologias de tratamento de dejetos de suínos, uma vez que a ausência desta preocupação ambiental quanto aos efluentes dos criatórios podem acarretar desequilíbrios ambientais, trazendo problemas de saúde às pessoas e aos animais.

Uma tecnologia que vem sendo bastante aplicada para o tratamento dos dejetos de suínos é o anaeróbio através de biodigestores. Na literatura esse tipo de tecnologia é apresentado com excelentes resultados do ponto de vista sanitário e ambiental, quando aplicados no tratamento de esterco bovinos e suínos. Além da alta eficiência de remoção da demanda química de oxigênio (DQO), o efluente tratado possui características interessantes para o uso como fertilizantes na agricultura (KUROKI *et al.*, 2012).

Outra grande vantagem é a captação do biogás, produzido naturalmente com a digestão da matéria orgânica, que na presença do biodigestor esse processo pode ser controlado se fazendo a captação do biogás e armazenando para uma posterior utilização (DELEO, 2009).

Diante disso, o presente trabalho tem como proposta avaliar o tratamento anaeróbio por meio de um biodigestor presente na granja, abastecido mediante dejetos suínos, estimando a capacidade teórica da produção de biogás no tratamento, bem como a produção de energia elétrica através do biogás produzido no criatório.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Através do tema abordado, este trabalho tem como objetivo analisar a capacidade produtiva do biogás mediante o tratamento anaeróbio do efluente em um empreendimento suinocultor que utiliza biodigestor como ferramenta e estimar a produção elétrica através de um motor-gerador com o biogás produzido na ETE.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Caracterizar a granja com os dados de localização, sistema de tratamento utilizado, número de animais e fase de crescimento.
- II. Calcular a produção teórica de biogás produzido em biodigestor com a remoção de DQO e concentração de metano no mesmo.
- III. Estimar a capacidade produtiva energética por intermédio de um motor-gerador abastecido pelo biogás calculado.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 TRATAMENTO ANAERÓBIO

Para Leite *et al.* (2009) o tratamento anaeróbio acontece através de um conjunto de reações bioquímicas sem que exista a presença de oxigênio livre em forma de moléculas durante todo o processo, o qual favorece para que inúmeras espécies de microrganismos interajam entre si, transformando compostos orgânicos complexos em outros compostos mais simples e menos pesados como: metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), nitrogênio (N₂), sulfeto de hidrogênio (H₂S), amoníaco (NH₃) e alguns outros ácidos.

Segundo Torres (2012), o sistema anaeróbio de tratamento é um método bastante favorável para se utilizar em países tropicais, onde as temperaturas estão sempre maiores que 20°C e tem se disseminado por todo o mundo abrangendo vários países que possuem essas características.

Em praticamente todo o território brasileiro, com ênfase no Nordeste, se tem uma grande vantagem quando é avaliado o tratamento anaeróbio com outros tipos de tratamento, justamente por conta das características climáticas, onde em maior parte do ano apresenta elevadas temperaturas com intervalo de tempo reduzido onde há pequenas variações de temperatura.

“Os digestores anaeróbios têm sido largamente aplicados para o tratamento de resíduos sólidos, incluindo culturas agrícolas, dejetos de animais, lodos de ETEs e lixo urbano.” (CHERNICHARO, 1997)

A explicação para a ampla área de aplicação referente aos tipos de resíduos que o tratamento anaeróbio abrange, se dá pela característica de que todos os compostos orgânicos podem ser degradados por via anaeróbia e esse tipo de tratamento possui algumas vantagens quando comparado com o tratamento aeróbio, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios comparados aos aeróbios

VANTAGENS	DESvantagens
1 - Menor consumo de energia	1 - Maior período de partida para desenvolvimento da biomassa necessária
2 - Menor produção de lodo biológico	2 - Pode requerer tratamento adicional para atingir os padrões de emissão do efluente
3 - Menor necessidade de nutrientes	3 - Muito sensível a efeitos de baixa de temperatura
4 - Produção de Metano (fonte de energia)	4 - Suscetível a presença de substâncias tóxicas
5 - Menores volumes de reator	
6 - Diminuição da poluição do ar	

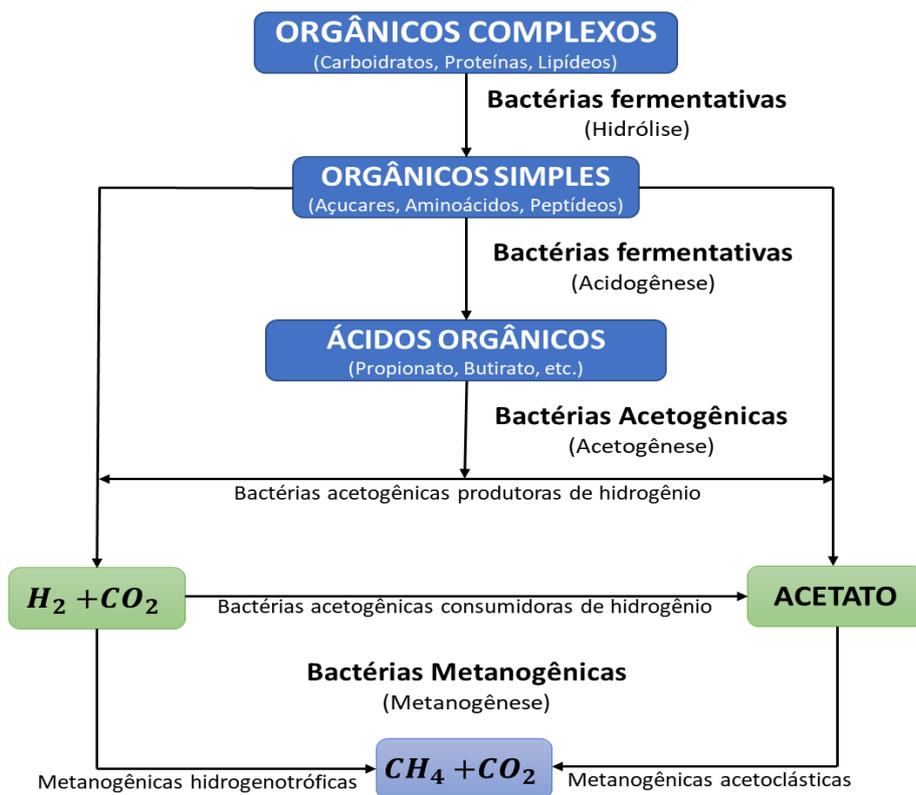
Fonte: Adaptado de Metcalf *et al.*, 2015

De acordo com Metcalf *et al.* (2015),

Os processos anaeróbios podem ser produtores de energia ao invés de serem apenas consumidores, como no caso do processo de tratamento aeróbio. A produção potencial de energia pelo tratamento anaeróbio depende das características do afluente, da temperatura de operação e de se a prática de recuperação de energia é praticada durante o processo.

Do ponto de vista biológico, a digestão anaeróbia pode ser basicamente descrita em três etapas, sendo elas a hidrólise de compostos orgânicos complexos, a produção de ácidos (acidogênese e acetogênese) e a produção de metano. Para Chernicharo (1997) essas etapas são resultadas das reações de três importantes grupos de microrganismos, com características de reações fisiológicas diferentes, em que as bactérias fermentativas são responsáveis pela hidrólise e metabolização dessa partículas hidrolisadas, as bactérias acetogênicas pela produção ácidos e hidrogênio, e as arqueas metanogênicas sendo a etapa final na qual acontece a produção do metano. Uma representação esquemática dos grupos microbianos e fases de digestão é mostrado na Figura 1:

Figura 1 - Diagrama esquemático da digestão Anaeróbia.



Fonte: Adaptado de Chernicharo, 1997.

- Hidrólise

A hidrólise, é a primeira etapa de todo o processo anaeróbio que segundo Lima (2006), as bactérias fermentativas hidrolíticas excretam enzimas para provocar a conversão de materiais particulados complexos em substâncias mais simples dissolvidas, que são resultados de reações extracelulares.

As bactérias não são capazes de assimilar a matéria orgânica particulada. Essa primeira fase de degradação anaeróbia consiste na transformação da matéria orgânica particulada complexa (polímeros) em compostos solúveis mais simples, através de enzimas extracelulares excretadas pelas bactérias. Os compostos solúveis resultantes podem ser acessíveis às bactérias, atravessando suas paredes celulares e membranas. Essa fase é considerada muito lenta e durante essa fase os carboidratos são hidrolisados a açúcares simples e as proteínas a aminoácidos. A temperatura do reator, o tempo de residência, a composição do substrato, o tamanho das partículas, o potencial hidrogeniônico (pH) do meio, a concentração de NH_4^+ e a

concentração de produtos da hidrólise podem influenciar a taxa e o grau de hidrólise do substrato (CHERNICHARO, 1997 apud PONTES, 2003).

Para Malinowsky (2016), dentre tantos fatores que influenciam na digestão anaeróbia o que mais se relaciona com a velocidade da hidrólise pode ser caracterizado pela temperatura interna do reator, pelo pH, período de permanência do substrato no reator entre outros fatores. Onde a hidrólise de carboidratos ocorre em algumas horas, já para proteínas e lipídios leva alguns dias.

- Acidogênese

No processo de hidrólise são formados compostos orgânicos, que são absorvidos nas células das bactérias fermentativas onde são metabolizados. Segundo Busato (2004) após a acidogênese esses compostos excretados como substâncias orgânicas mais simples como ácidos graxos voláteis, ácido láctico, álcoois e compostos minerais como CO_2 , NH_3 , H_2S etc. As bactérias acidogênicas, são basicamente anaeróbias, mas uma pequena parte que se resume a 1% é formada por bactérias facultativas que metabolizam o substrato orgânico por via oxidativa. Essa característica tem grande importância, pois o oxigênio dissolvido que eventualmente está presente no tratamento anaeróbio, é absorvido por essas bactérias acidogênicas facultativas. Sendo assim, evita que se torne tóxico para as bactérias metanogênicas.

- Acetogênese

As bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos compostos formados na fase acidogênica em produtos apropriados para a metanogênese. Os produtos gerados nessa fase são hidrogênio, o acetato e o dióxido de carbono (BUSATO, 2004). Para Schrank (2000), a acetogênese é feita pelo segundo grupo de bactérias, chamadas de bactérias acetogênicas, que produzem hidrogênio molecular (H_2) por conta do acetato e do hidrogênio formados no seu metabolismo através de ácidos orgânicos e outros compostos resultantes das ações de bactérias anteriores a este processo.

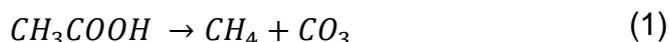
Durante a formação dos ácidos acético e propiônico, uma grande quantidade de hidrogênio é formada, fazendo com que o valor do pH no meio aquoso decresça. Há porém duas maneiras pelas quais o hidrogênio é consumido no meio: i) Através das bactérias metanogênicas, que utilizam hidrogênio e dióxido de carbono para produzir metano; e ii) através da formação de ácidos orgânicos, tais como propiônico

e butírico, ácidos estes formados através da reação do hidrogênio com dióxido de carbono e ácido acético (CHERNICHARO, 1997).

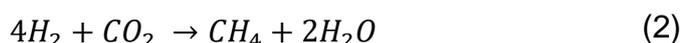
- Metanogênese

Chernicharo (1997) descreve a metanogênese como sendo a etapa final do processo de digestão anaeróbia, em que as metanogênicas degradam os compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono. Estas arqueas utilizam uma quantidade limitada de substrato, que se resume em ácido acético, ácido fórmico, metanol, hidrogênio/dióxido de carbono, metilaminas e monóxido de carbono. Já que as produtoras de metano são os organismos mais sensíveis e limitantes da velocidade, é necessário que as condições ambientais sejam controladas de modo a favorecer a atividade e crescimento delas (SCHRANK, 2000). Para Busato (2004) em função da afinidade das metanogênicas com o substrato e do grau de produção de carbono, elas são divididas em dois grupos apresentados nas equações 1 e 2:

- a) Metanogênese acetotrófica ou acetoclástica: Converte o ácido acético em metano e CO₂.



- b) Metanogênese hidrogenotrófica: Responsáveis pela conversão do hidrogênio e do dióxido de carbono em metano.



As chamadas de hidrogenotróficas utilizam hidrogênio e fonte de carbono para elas é principalmente o dióxido de carbono. Algumas são capazes de crescer também em formiato, metanol, monóxido de carbono e metilamina, que são intermediários menos importantes dentro de um biodigestor. As que usam a quebra do acetato como fonte de energia e de carbono são chamadas de acetotróficas ou acetoclásticas (SCHRANK, 2000)

Essa é uma etapa muito importante do processo, pois é ela a responsável pela geração de biogás. Soares *et al.* (2017) relatam que essa produção de biogás a partir da digestão anaeróbia é uma promissora fonte de energia renovável que além de estar gerando energia colabora com o tratamento de materiais orgânicos. Este processo pode ter alteração por conta de diversos fatores, por isso deve-se controlar cada etapa para obter as melhores condições possíveis, evitando qualquer tipo de mudança brusca, pois é um processo muito sensível principalmente por conta das arqueas e

alguma mudança pode gerar desequilíbrios no processo e afetar o desempenho da digestão, podendo levar até na interrupção do processo anaeróbio.

3.2 BIODIGESTORES

Os biodigestores produzem biogás através dos mecanismos de tratamento anaeróbio que ocorre devido as reações das bactérias e das arqueas na digestão dos dejetos presentes no biodigestor. Além do biogás, outro subproduto muito útil gerado nesse processo é o biofertilizante que tem grande utilidade na agricultura, sendo um substrato rico em nutrientes para plantas e vegetais (FREITAS *et al.*, 2018).

Nascimento *et al.* (2012) relatam que no Triângulo Mineiro (MG) a expansão e grande investimento no setor da suinocultura trouxe ganhos e desenvolvimento econômico para toda a região, ao mesmo tempo, essa expansão provocou grandes impactos negativos ao meio ambiente por conta do despejo irregular dos dejetos na água e no solo. Acarretando assim discussões que trouxe como consequência a quase obrigatoriedade da instalação de biodigestores entre os produtores rurais.

O biodigestor é uma ferramenta barata e eficiente para o tratamento de dejetos, que através da interação biodigestor e lagoas de estabilização Vivan *et al.* (2010), conseguiram reduzir até 98% da DQO nos efluentes de uma criação de suínos. Um destaque na pesquisa de Vivan *et al.* (2010) foi a redução de DQO na fase inicial do projeto (biodigestor), em que se conseguiu alcançar uma redução próxima dos 84%, fruto da alta biodegradabilidade da matriz.

Um estudo feito por Carvalho *et al.* (2014), realizaram entrevistas exploratórias com gerentes e proprietários de 37 granjas de suínos no estado de São Paulo, em que os resultados mostraram que aproximadamente 62% dos estabelecimentos foram considerados insatisfatórios quanto aos seus sistemas de gestão ambiental. Nesses criatórios avaliados para os itens como o uso de biodigestores e compostagem de resíduos, 51,35% não possuíam biodigestores, 67,55% e 62,15% respectivamente não utilizavam práticas de compostagem ou faziam de forma insatisfatória. Desse modo é notório a necessidade da conscientização dos criadores e da criação de programa de incentivos a melhoria do manejo dos resíduos em criatórios suínos no estado de São Paulo.

O uso de biodigestores anaeróbio no tratamento de efluentes de suínos obteve resultados positivos e eficazes na redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) nos cursos d'água, realizando uma considerada diminuição do mau cheiro provocado pelos dejetos e diminuição de agentes químicos e agrotóxicos na agricultura por conta dos biofertilizantes gerados, tornando-o um equipamento bastante viável e minimizador de impactos ao meio ambiente. (NASCIMENTO *et al.*, 2012).

Além dos benefícios ambientais do uso dos biodigestores, inúmeras utilidades para os subprodutos gerados nesse sistema viabilizam cada dia mais sua aplicação, como mostram os resultados de Villela *et al.* (2003), que aprovou a viabilidade da utilização do efluente de biodigestor no cultivo hidropônico de meloeiro, em que a parcial substituição de adubos minerais por biofertilizante resultantes de tratamento anaeróbio mostrou-se possível para o cultivo de meloeiro em sistema hidropônico aberto com substrato.

Para acelerar o processo de digestão é comum adicionar inóculo nos biodigestores, que é a introdução de bactérias vivas resultantes de processos anteriores, isso pode acelerar todo o processo de biodigestão diminuindo o tempo de detenção e até melhorando a produção de substrato. Xavier *et al.* (2010) realizaram experimentos variando a introdução de inóculo entre 0 e 40% de inóculo (v/v) junto aos substratos de biodigestores, que com os resultados foi recomendado a utilização de 40%, pois permite a maior produção de biogás e menores tempos de retenção hidráulica, o que acarreta na redução do volume do biodigestor e conseqüente no custo de implantação e operação do mesmo.

Castro *et al.* (1998) ao realizarem estudo de biodigestores alimentados por esterco bovino mantidos em diferentes temperaturas obtiveram resultados que aprovaram a faixa de temperatura mesofílica (entre 30°C e 40°C) como sendo a mais favorável ao desempenho de biodigestores, avaliando não só a eficiência quanto a produção do biogás como também em relação a degradação de sólidos em todo o sistema, então reafirmou o cuidado que deve ser tomado para a manutenção da temperatura em faixa ideal pois biodigestores estão muito suscetíveis a variação do ambiente.

Ferreira *et al.* (2005) avaliaram a biodigestão anaeróbia de dejetos suínos em vários digestores de 14 litros (L), foram formados três grupos expostos a diferentes

temperaturas (25, 30 e 40°C) e a dois níveis de agitação do substrato (com ou sem agitação). Com os resultados obtidos foi possível observar que a agitação não influenciou no processo, e que o melhor desempenho no tratamento e na produção de biogás foi dado nos biodigestores mantidos em temperatura de 35°C.

Os biodigestores em batelada são operados de forma descontínua, sendo abastecidos e fechados até o fim do processo em que toda a bactéria orgânica é decomposta. Já os biodigestores de fluxo contínuo são alimentados periodicamente e ao mesmo tempo que esses dejetos são produzidos entram diretamente no processo de fermentação. Deganutti *et al.* (2002), acrescentam que modelo de biodigestor em batelada adapta-se melhor quando a disponibilidade de resíduos ocorre em períodos mais longos, como no caso de granjas em que a biomassa fica retida durante todo o tempo de permanência das aves no galpão, e fica à disposição do tratamento em sua totalidade quando ocorre a venda dos animais e limpeza da região.

O biodigestor de fluxo contínuo se torna vantajoso em meios que a produção de dejetos é contínua e pode ser inserida no biodigestor constantemente, pois de acordo com Farias *et al.* (2012) a estocagem de dejetos de aves poedeiras influenciou nos potenciais de produção de biogás. Isso se deu por conta de que se tem a redução dos teores de sólidos voláteis (SV) em cerca de 20 % quando comparados os tempos de acúmulo de 1 e 20 dias. Também foram observadas reduções de 100% no teste pelo método do número mais provável (NMP) de coliformes totais e termotolerantes ao final do processo. Sendo essas alterações responsáveis pela redução de 37,2% no potencial de produção de biogás no processo de biodigestão anaeróbia de dejetos de aves de postura.

Deganutti *et al.* (2002), caracterizam esses modelos contínuos viáveis para atender propriedades que a disponibilidade de biomassa ocorre em períodos pequenos, em exemplo as que recolhem os dejetos de gados diariamente devido as ordenhas, viabilizando os efluentes a serem encaminhados diretamente ao biodigestor.

Como auxílio ao tratamento de dejetos de suínos, Gonçalves *et al.* (2008), através de experimentos aprovaram o uso de macrófita aquática com eficiência para a redução de metais pesados em efluentes de biodigestores utilizados para tratamento

de dejetos suínos. Aprimorando assim o uso desses efluentes na agricultura como biofertilizantes como quantidades menores de metais pesados.

Kuroki *et al.* (2012), avaliaram a eficiência de um sistema de biodigestor alimentado por esgoto sanitário e por dejetos suínos obtendo resultados positivos com a diminuição de DBO, DQO e coliformes muito interessantes, porém, não podem ser descartados em corpos d'água, sem uma depuração prévia por conta de apresentar ainda matéria orgânica e vários elementos solúveis que podem ser positivamente aplicados a agricultura.

Em Iowa, nos Estados Unidos da América o uso de biodigestores de alimentação contínua com a captação do metano produzido, foi muito bem-sucedido, solucionando problemas de odores e geração de energia na região. (ERNST *et al.*, 1990 apud ANGONESE *et al.*, 2007)

Barana *et al.* (2000) ao analisarem o tratamento de resíduos de mandioca em biodigestores em diferentes tipos de manuseio, verificou-se que a biodigestão anaeróbia pode ser conduzida, pelo menos, de duas maneiras, sendo uma com o objetivo de produção de energia através do metano e a outra com foco apenas na redução de carga orgânica, variação essa que se dá através carga orgânica de entrada que deve ser calculada em função do objetivo a ser alcançado com a biodigestão.

Previdelli *et al.* (2012) ao analisarem alterações na composição e no processo de biodigestão de dejetos de bovinos de diferentes genótipos, em diferentes períodos de confinamento e alimentados com diferentes proporções de volumoso e concentrado, observou que não houve efeito em relação a diferente genótipo nem ao período, porém, quanto a variação na alimentação dos animais com o aumento de volumoso na dieta levou a menor eficiência do processo, sendo assim foi observado uma maior produção de metano na dieta onde havia maior quantidade de concentrado na alimentação dos animais.

3.3 GERAÇÃO DE BIOGÁS

Com a observação de ambientes da natureza onde ocorriam processos anaeróbios como pântanos, lagos e outros, na metade do século XIX passou-se a utilizar esse processo fermentativo para tratar esgotos domésticos e o gás produzido

era utilizado para a iluminação. Então a partir do século XX foi dado início na Índia e na China o desenvolvimento de biodigestores para a produção de metano através de resíduos animais, principalmente do esterco bovino, e com o passar do tempo no início dos anos 1960, a digestão anaeróbia passou a ser tratada com um caráter mais científico e obteve progresso com o conhecimento acerca do assunto, também houve uma melhor compreensão do processo e dos fundamentos de projetos de biodigestores e equipamentos que os auxiliam. (PECORA, 2006)

Até pouco tempo, o biogás era tratado apenas como um resíduo (subproduto) do tratamento anaeróbio de dejetos, porém, com o constante desenvolvimento de todos os meios de produção e com a elevação dos custos dos combustíveis convencionais têm incentivado pesquisas e estudos sobre formas de utilização do biogás como fonte para geração de energias renováveis e economicamente viáveis. (PECORA, 2006)

Nos dias de hoje a produção de energia elétrica através do biogás já pode ser considerada corriqueira em alguns setores. Como por exemplo no setor agrícola em granjas de suínos que através do processo de digestão anaeróbia dos dejetos do criatório, o qual esse tratamento produz o biogás que em seguida converte em energia elétrica ou energia térmica que serve para aquecer os suínos no berçário. Já no setor urbano a prática de geração de energia elétrica vem ainda se expandido com foco nos aterros sanitários. (COSTA, 2006)

Entre as etapas da digestão anaeróbia, a que mais interessa para a formação do biogás é a metanogênese, que através de ácido acético, CO₂ e de outros subprodutos formados nas fases anteriores ocorre a formação do metano. Essa fase requer mais cuidado que as anteriores, uma vez que as bactérias metanogênicas são mais sensíveis que grupo responsável pelas etapas anteriores, chamado de Archea. As arqueas metanogênicas não resistem a substâncias tóxicas e variação de pH. (KARLSSON, 2014)

Mariani (2018) analisou o setor de biogás no Brasil e comparou com o panorama europeu e os mecanismos utilizados de incentivo para seu desenvolvimento. Desse modo, até 2015 já existiam 127 usinas produzindo energia elétrica e mecânica através do biogás brasileiro, constatando que a produção está se tornando realidade. Apesar disso, muitas dificuldades ainda são encontradas para a

consolidação do setor, que através do estudo essas dificuldades foram agrupadas em barreiras tecnológicas, políticas, de conhecimento, econômicas e financeiras.

Deleo (2009) ao estudar a viabilidade de geração de energia elétrica por meio do biogás gerado pelo tratamento anaeróbio dos resíduos de um abatedouro de bovino em Lupércio/SP, notou que com a auto geração de energia no estabelecimento levando em consideração a menor capacidade de funcionamento traria uma receita mensal de R\$ 3.164,00. Apenas com essa receita, sem levar em consideração a venda do biofertilizante também gerado no processo, o tempo de retorno do investimento de implantação do sistema seria de aproximadamente 46 meses (3,8 anos).

Marçal (2016) comparou uma metodologia americana de estimativa do potencial de produção do gás metano relacionado a porcentagem de sólidos voláteis que compõe o material e valores diferentes foram obtidos de acordo com a realidade local. A justificativa se dá pela diferente composição do resíduo e pelas características climáticas. Outro fator importante observado por ele foi a viabilidade do tratamento de resíduos alimentares, sendo capaz de suprir a demanda de gás de cozinha diária de 19 residências.

Suzuki *et al.* (2012) ao analisarem a viabilização da utilização de manipueira com sólidos da cama de aviário para a produção de biogás em biodigestores, chegaram a um resultado não satisfatório quanto ao uso da manipueira, pois a medida que foi aumentado a sua proporção houve redução da produção como pode ser visto na Tabela 2. Contudo, para a cama de aviário tem uma boa eficiência para o processo. Assim, por conta das características distintas dos dois resíduos, recomendam que não se faça a mistura para o tratamento em reatores de fase simples.

Tabela 2 - Comparativo da produção de biogás em biodigestor alimentado por cama de aviário e manipueira

TRATAMENTO	PROPORÇÃO DE CAMA DE AVIÁRIO	PROPORÇÃO DE MANIPUEIRA	MÉDIA DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS (cm ³)
A	100%	0%	569,53
B	80%	20%	389,2
C	60%	40%	378,27
D	40%	60%	205,51

Fonte: Adaptado de Suzuki *et al.*, 2012.

Paini (2017) estudou em escala de laboratório a geração e a qualidade do biogás formado através da biodigestão, utilizando como substrato resíduos da produção de balas e marshmallows e como inóculo lodo anaeróbio de estação de tratamento de efluente e obteve resultados satisfatório, não só para a produção, mas também para a qualidade, pois teor de metano esteve entre 58% e 68%, sendo esse um resultado satisfatório.

Cancelier *et al.* (2015) avaliaram a influência de condições operacionais que podem maximizar a produção de biogás a partir de biodigestores. Onde, eles realizaram ensaios com dejetos de suínos em fase de terminação, analisando a influência de cinco fatores: concentração inicial de matéria orgânica, temperatura e a adição de três diferentes nutrientes inorgânicos sendo eles: Sulfato de níquel ($NiSO_4 \times 6H_2O$), sulfato de ferro ($FeSO_4 \times 7H_2O$) e sulfato de manganês ($MnSO_4 \times 4H_2O$). Os melhores resultados foram obtidos para temperaturas de 33,5 a 44°C, concentração de biomassa inicial de 395 a 595 g.L⁻¹. Já no que se refere ao uso de nutrientes, foi possível reduzir o tempo de retenção hidráulica e maior produtividade de biogás.

Pessuto *et al.* (2016) realizaram um trabalho onde avaliaram a produção de biogás através da digestão anaeróbia de resíduos de arroz e couro curtido. Onde, foi adicionado, lodos de estação de tratamento vindos de um curtume e de uma universidade. As análises foram feitas a uma temperatura de 35°C, e verificou-se que a digestão dos dejetos de arroz com adição de lodo proveniente da universidade apresentou maior volume de gás gerado que foi de 132 mL/g de sólidos totais (ST).

A potencialidade do uso de resíduos de bananicultura como substrato de fermentação para formação de biogás foi avaliada por Federizzi *et al.* (2009). Onde, esses resíduos eram cascas de banana, engaço, folhas e caule, foram biodegradados a 30° C, e trabalhados em volumes diferentes. Verificou-se que a composição ideal para melhor rendimento foi com 50% de cascas, 25% de folhas e 25% de caule. Pois o engaço apresentou uma degradação lenta e não foi recomendada para a digestão conjunta dos resíduos.

Visando o tratamento adequado dos dejetos gerados pelo abate de bovinos e a geração de biogás, Moghrabi *et al.* (2013) avaliaram a inclusão de biorremediadores no processo de biodigestão anaeróbia desses dejetos. Então, foi analisado o potencial

de produção e a qualidade do biogás gerado, pH, sólidos voláteis e sólidos totais e tempo de retenção hidráulica em 4 diferentes tratamentos. Onde, todos os tratamentos obtiveram resultados iguais para a produção, mas onde foi implantado remediador biológico houve a queima mais rápidas, pois, antecipou a atuação de arqueas metanogênicas no meio.

Piñas *et al.* (2016) fizeram a estimativa de produção de biogás e energia elétrica através da decomposição anaeróbica em um aterro sanitário por dois modelos: LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb), que mostraram resultados similares com variação de 5%. Para o modelo LandGEM se estimou uma produção de energia acumulada de 128,68 GWh e um volume de biogás acumulado de 26.075.960 m³. O modelo de Biogás apresentou resultados parecidos com acúmulo de energia de 141,31 GWh, e uma produção de biogás de 27.476.360 m³.

Resultados estes que deixaram claro a viabilidade da utilização do metano como fonte de energia, pois além de reduzir a emissão de gases de efeito estufa, ele traz retorno econômico reduzindo o consumo de energia e vendendo pela rede elétrica.

4 METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO CRIATÓRIO

O objeto de estudo é um criatório de suínos localizado na zona rural do município de Limoeiro de Anadia – Alagoas (AL), possuindo uma altitude de aproximadamente 200m a cima do nível do mar, cujas as coordenadas geográficas são: 9°43'57.7"S 36°34'36.9"W. Segundo dados de 2010 do IBGE, a cidade conta com uma população de 28635 habitantes, tem uma densidade demográfica de 85,48 hab/km² e ocupa uma área de 309,205 Km² e apenas 11,6% da população tem esgotamento sanitário adequado. A localização do município é ilustrada na Figura 2:

Figura 2 - Localização do município de Limoeiro de Anadia no cenário estadual



Fonte: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/limoeiro-de-anadia/panorama>> (Adaptado pelo Autor)

A granja contempla um plantel médio e constante de 3000 suínos em fase de terminação, e 1000 na creche que é o local onde eles ficam durante 30 dias quando chegam no criatório recém desmamados para adaptação. Os animais na fase de terminação são divididos em baias com lotação entre 30 e 40 animais em cada, como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Baias dos suínos em fase de terminação e engorda



Fonte: O Autor, 2019.

Atualmente por conta da localização dos galpões, desníveis do terreno e pequena quantidade de resíduos gerado pela creche, apenas os resíduos obtidos nas unidades de terminação passam por tratamento para um descarte final no manancial de um riacho como é mostrado na Figura 4:

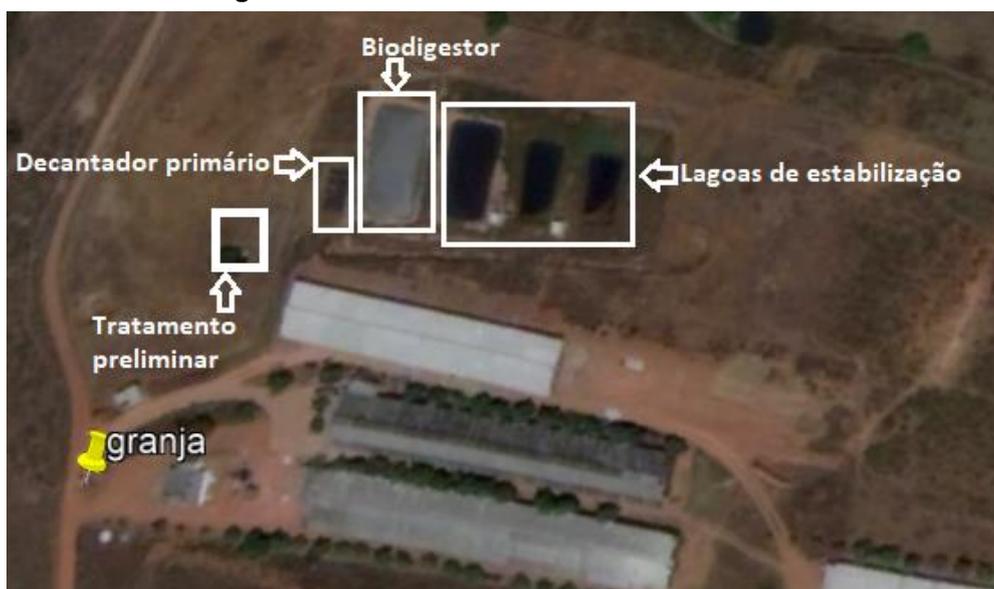
Figura 4 - Localização da granja e manancial do riacho



Fonte: Google Earth, 2019. (Adaptado pelo Autor)

Na Figura 5, obtida através do software Google Earth, pode ser observada a localização dos galpões e unidades de tratamento da granja, o tratamento primário não está visível pois são imagens de 2018 e o criatório fez algumas melhorias ao longo desse tempo, então foi feito uma ilustração para a localização deste processo.

Figura 5 - Sistema de tratamento do criatório de suínos



Fonte: Google Earth, 2019. (Adaptado pelo Autor)

O sistema de tratamento que está implantado na granja funciona de forma intermitente tendo fluxo contínuo durante todo o dia. É constituído primeiramente de um tratamento preliminar no tanque de abastecimento onde é feito o gradeamento e a retirada de materiais sólidos através de um separador centrífugo como mostra a Figura 6:

Figura 6 - Separador de sólido instalado na ETE



Fonte: O Autor, 2019.

Após o tratamento preliminar o efluente segue para o decantador primário e em seguida alimenta o biodigestor, que é basicamente uma lagoa coberta com um

gasômetro de geomembrana de 1mm de espessura onde é feita a coleta do biogás. O biodigestor é mostrado na Figura 7:

Figura 7 - Biodigestor em operação na granja.



Fonte: O Autor, 2019.

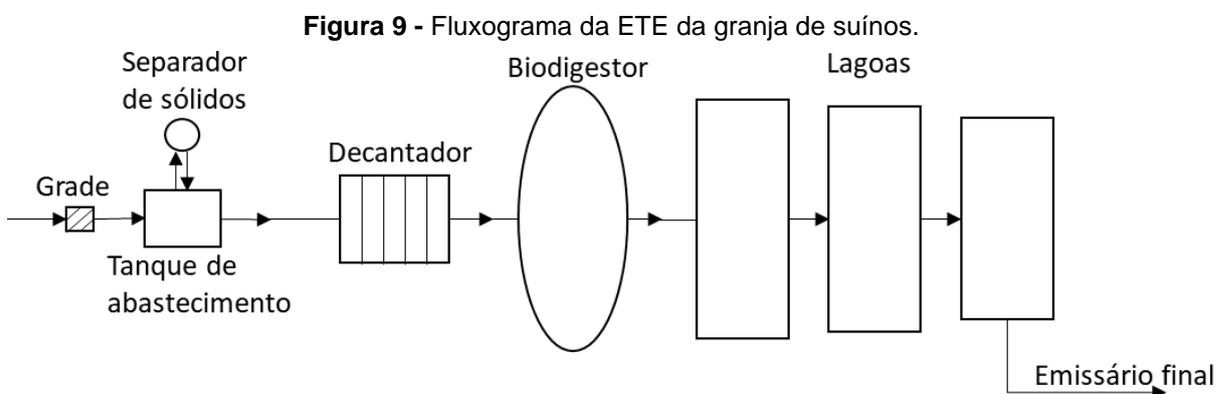
O Biogás gerado neste tratamento anaeróbio é composto principalmente de gás metano e coletado no gasômetro sendo encaminhado ao aquecimento dos suínos na creche, que é o lugar para onde os leitões vão logo após o desmame. Por ser o processo de saída da maternidade, é uma fase considerada de adaptação para os leitões, pois eles deixam a companhia da porca, parando de se alimentar com leite materno e passando a consumir exclusivamente ração. Então, para evitar perdas e quedas no desempenho dos animais, são necessários alguns cuidados com a sala de creche entre eles a manutenção de uma temperatura próxima com a da maternidade diminuindo assim o estresse nos animais e melhorando o seu desempenho.

O excedente de biogás produzido no tratamento anaeróbio é queimado para que o metano se transforme em gás carbônico, que minimiza os problemas do aquecimento global uma vez que o gás carbônico é menos agressivo que o metano. O equipamento de queima é mostrado na Figura 8:

Figura 8 – Queimador de biogás

Fonte: O Autor, 2019.

O efluente do biodigestor segue para uma sequência de três lagoas aeróbias de estabilização que se considera essencial para estabilização, redução e melhoria na qualidade dos componentes químicos do efluente, viabilizando assim a reutilização deles para irrigação e descarte. O fluxograma do funcionamento da ETE do criatório está ilustrado na Figura 9:



Fonte: O autor, 2019.

4.2 ESTIMATIVA DA VAZÃO DE AFLUENTE

Como não se tem controle dos dados de vazão de afluente no criatório por falta de medidores, foi necessário nesse trabalho a estimativa de uma vazão de acordo com a quantidade de suínos que efetivamente contribuem na produção de despejos e com dados de vazões médias para cada modelo de sistema de produção de suínos. A vazão foi calculada pela Equação 3:

$$Q_t = \frac{P_s \cdot q}{86400} \quad (3)$$

Onde:

Q_t : Vazão total de afluentes a ser tratado (L/s);

P_s : População de suínos em fase de terminação na granja (animal);

q : Produção de dejetos de contribuição por animal (L/animal.dia);

4.3 ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE METANO

Para calcular a produção total de biogás no sistema, dever ser encontrada a produção volumétrica de metano e com a concentração de metano no biogás se calcula a produção de biogás no biodigestor.

Com a estimativa de vazão de afluente, dados de cargas médias e concentrações de DBO, a Equação 4 pode ser usada para calcular a conversão de DQO em gás metano

$$DQO_{CH_4} = Q_{méd}(S_o - S) - Y_{obs} \cdot Q_{med} \cdot S_o \quad (4)$$

Onde:

DQO_{CH_4} : Carga de DQO convertida em metano ($Kg \cdot DQO_{CH_4}/d$);

$Q_{méd}$: Vazão média do afluente (m^3/d);

S_o : Concentração de DQO no afluente inicial ($kg \cdot DQO/m^3$);

S : Concentração de DQO no efluente ($kg \cdot DQO/m^3$);

Y_{obs} : Coeficiente de produção de sólidos, em termos de DQO ($0,11$ a $0,23 \text{ kgDQO}_{\text{load}}/\text{kgDQO}_{\text{apl}}$);

Para se fazer a conversão de massa de CH_4 em produção volumétrica foi utilizada a Equação 5:

$$Q_{\text{CH}_4} = \frac{DQO_{\text{CH}_4}}{f(T)} \quad (5)$$

Onde:

Q_{CH_4} : Produção volumétrica de metano (m^3/d);

$f(T)$: Fator de correção para temperatura operacional do reator (kgDQO/m^3);

O fator de correção $f(T)$, de acordo com Chernicharo (2016) foi encontrado através da Equação 6:

$$f(T) = \frac{P \cdot K_{DQO}}{R(273 + T)} \quad (6)$$

Onde:

P : Pressão atmosférica (atm);

K_{DQO} : DQO correspondente a 1 mol de CH_4 (gDQO/mol);

R : Constante dos gases ($\text{atm} \cdot \text{L}/\text{mol} \cdot \text{K}$);

T : Temperatura operacional do reator ($^{\circ}\text{C}$)

4.4 ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE BIOGÁS

Por fim, com a produção volumétrica de produção de metano do biodigestor implantado e a concentração de metano no biogás coletado, através da Equação 7 foi possível calcular a produção total de biogás no sistema:

$$Q_{\text{biogás}} = \frac{Q_{\text{CH}_4}}{C_{\text{CH}_4}} \quad (7)$$

Onde:

$Q_{biogás}$: Produção volumétrica de biogás no sistema (m^3/d)

4.5 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DOS DEJETOS DE SUÍNOS

Para se fazer qualquer estimativa quanto ao tratamento de dejetos, é necessário que haja em mãos as características deste material. Uma vez que no presente estudo não foram realizadas análises laboratoriais, na Tabela 3 pode ser observado a caracterização físico-química de alguns parâmetros na saída de dejetos em sistemas de manejo de suínos segundo diferentes autores.

Tabela 3 - Características físico-químicas de dejetos de suínos segundo alguns autores

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	AUTORES					MÉDIA
	Kostaneski (2018)	Schmidt <i>et al.</i> (2007)	Marchi (2010)	Silva (1996) apud Dias <i>et al.</i> (2011)	Soler (2012)	
Temperatura (°C)	25,1	-	-	-	-	25,1
PH	7,57	-	6,6	-	7,35	7,173333
DQO (mg L ⁻¹)	52156,67	31050,71	21560	25542,9	54054	36872,86
DBO (mg L ⁻¹)	-	-	6771	-	11860	9315,5
ST (mg L ⁻¹)	46337,41	91146,67	-	22399	-	53294,36
SF (mg L ⁻¹)	12495,37	23216,17	2884	6010	-	9252,685
SV (mg L ⁻¹)	33842,04	73930	16072	16388	-	25115,02
N (mg L ⁻¹)	4667,6	-	2615	2374,3	3338	3248,725
P (mg L ⁻¹)	2324,8	-	13,9	577,8	1234,62	1037,78
K (mg L ⁻¹)	3247,5	-	376	535,7	22330	6622,3
AV/AT	0,95	-	-	-	-	0,95
D (g L ⁻¹)	1,014	-	-	-	-	1,014

Fonte: O Autor, 2019.

Como pode ser visto na tabela os valores variam para o mesmo parâmetro, isto se dá por conta de algumas variáveis como tamanho e idade dos suínos, a alimentação fornecida, o sistema de manejo, quantidade de água ingerida e a digestibilidade dos animais que podem variar até mesmo de acordo com a raça e genética dos animais.

4.6 ESTIMATIVA DE POTENCIAL ELÉTRICO DA GRANJA

De acordo com o projeto PROBIOGÁS (2016), um motor-gerador pode ser acrescentado ao sistema de tratamento anaeróbio para um aproveitamento energético através do biogás. No presente trabalho a potência elétrica da estação foi calculada através da Equação 8.

$$P_{elétrica} = Q_{biogás,disponível} \cdot PCI \cdot \eta_{elétrico} \quad (8)$$

Onde:

$P_{elétrica}$: Potência elétrica (kW);

$Q_{biogás,disponível}$: Produção volumétrica de biogás no sistema (m^3/h);

PCI : Poder calorífico inferior do metano (kWh/m^3);

$\eta_{elétrico}$: Rendimento elétrico do motor (%);

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE METANO

5.1.1 Estimativa da vazão afluyente da ETE

De acordo com informações colhidas, com os funcionários da granja, em janeiro 2019, contribuem para a estação de tratamento um total de 3000 suínos em fase de terminação. O Consumo unitário para os animais pode ser adotado através da tabela 4:

Tabela 4 - Produção unitária para cada categoria de suínos

Modelos de Sistema de Produção de suínos	Volume de dejetos (L/animal/dia)
Ciclo completo	47,4
Unidade de produção de leitões	22,8
Unidade de produção de desmamados	16,2
Crechário	2,3
Unidade de Terminação (UT)	4,5

Fonte: FATMA, 2014.

Como apenas os suínos em fase de terminação e engorda contribuem para a ETE do criatório, foi adotado para esse trabalho a contribuição unitária de 4,5 L/animal/dia. Com esse dado então foi calculado a vazão média de abastecimento da ETE através da Equação 3:

$$Q_t = \frac{P_s \cdot q}{86400}$$

$$Q_t = \frac{3000 \cdot 4,5}{86400}$$

$$Q_t = 0,156 \text{ L/s}$$

5.1.2 Estimativa da produção de Metano

Os dados de concentração de DQO utilizado para calcular a produção vão ser extraídos da Tabela 3, em que será feito uma média de todos os valores encontrados para este parâmetro como ilustra a Tabela 5:

Tabela 5 - Valor médio para concentração de DQO em dejetos de suinocultura

PARÂMETROS FÍSICO- QUÍMICOS	AUTORES					MÉDIA
	Kostaneski (2018)	Schmidt <i>et al.</i> (2007)	Marchi (2010)	Silva (1996) apud Dias <i>et al.</i> (2011)	Soler (2012)	
DQO (mg L ⁻¹)	52156,67	31050,71	21560	25542,9	54054	36872,856

Fonte: O Autor, 2019.

Aires *et al.* (2014), utilizando como estudo uma granja de suínos com tratamento de dejetos em um biodigestor canadense adaptado de características semelhantes ao da granja em análise neste trabalho, encontraram valores para remoção de DQO de eficiência de 72,8% que vai ser utilizado como base para o estudo aqui em questão.

Foi utilizado além dos dados de concentração média de DQO obtido da Tabela 5, vazão média de afluente calculado anteriormente e coeficiente de produção de sólidos em termos de DQO, onde Chernicharo (2016) cita valores entre 0,11 e 0,23 $kgDQO_{lodo}/kgDQO_{apl}$, para esse trabalho foi utilizado um valor intermediário de 0,17 $kgDQO_{lodo}/kgDQO_{apl}$. Para o cálculo da estimativa de produção de metano, foi utilizada a Equação 4.

$$DQO_{CH_4} = Q_{méd}(S_o - S) - Y_{obs} \cdot Q_{med} \cdot S_o$$

$$DQO_{CH_4} = \left[\left(0,156 \cdot \frac{86400}{1000} \right) \cdot \left(\frac{(36872,856 - 36872,856 \cdot 27,2\%)}{1000} \right) \right] - \left[0,17 \cdot \left(0,156 \cdot \frac{86400}{1000} \right) \cdot \left(\frac{36872,856}{1000} \right) \right]$$

$$DQO_{CH_4} = 278,313 \text{ KgDQO}_{CH_4}/d$$

Com a carga DQO convertida em Metano já calculada, foi necessário encontrar um fator de correção levando em consideração a temperatura operacional na região do criatório. Segundo o trabalho desenvolvido por Nimer (1989) sobre a climatologia do Brasil, a área em que se situa a granja é caracterizada por temperaturas elevadas

a maior parte do ano, com uma média anual de 24 °C. Então, a temperatura operacional do reator foi considerada 24°C.

No estudo feito por Bottecchia (2008) foi possível observar que para locais com altitude próximas de 200m a pressão atmosférica foi muito próxima a 1atm e só ocorrem grandes variações para locais com diferenças de altitudes elevadas. Então, foi considerado na granja a pressão de 1atm.

Para Chernicharo (2016) é recomendável se considerar que 1 mol de CH₄ possui 64 gramas de DQO e a constante dos gases sendo igual a 0,08206 atm · L/mol · K. Através dos dados citados anteriormente e da Equação 6 se foi possível encontrar o fator de correção.

$$f(T) = \frac{P \cdot K_{DQO}}{R(273 + T)}$$

$$f(T) = \frac{1 \cdot 64}{0,08206(273 + 24)}$$

$$f(T) = 2,626 \text{ gDQO/L} = 2,626 \text{ kgDQO/m}^3$$

Com os valores de carga de DQO convertida em metano e o fator de correção para temperatura do local é possível através da Equação 5 encontrar a estimativa de capacidade de produção de metano da estação de tratamento do criatório.

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{f(T)}$$

$$Q_{CH_4} = \frac{278,313 \text{ KgDQO}_{CH_4}/d}{2,626 \text{ kgDQO/m}^3}$$

$$Q_{CH_4} = 105,98 \text{ m}^3/d$$

Este valor calculado é apenas teórico, pois ainda segundo Chernicharo (2016) entre 40% e 50% do metano produzido é perdido ou sai dissolvido no efluente na prática, sendo assim para estimar a produção de metano que é coletado na prática do

reator foi utilizado um valor médio de 45% de perda para que o valor pratico possa ser encontrado.

$$Q_{CH_4} = 105,98 \cdot 55\%$$

$$Q_{CH_4} = 58,289 \text{ m}^3/d$$

5.2 ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE BIOGÁS

Segundo Chernicharo (2016), a concentração de metano no biogás pode variar em um intervalo entre 70% e 80% de seu volume e foi considerado um valor médio global de 75% para se fazer a estimativa através da Equação 7 da produção volumétrica de biogás da granja de suínos.

$$Q_{biogás} = \frac{Q_{CH_4}}{C_{CH_4}}$$

$$Q_{biogás} = \frac{58,289 \text{ m}^3/d}{75\%}$$

$$Q_{biogás} = 77,72 \text{ m}^3/d$$

5.3 ESTIMATIVA DO POTENCIAL ELÉTRICO

De acordo com PROBIOGÁS (2016) o rendimento elétrico típico de um motor-gerador é de 38%, quanto ao poder calorífico inferior do biogás apresenta valores entre 6,0 e 7,0 kWh/m³ em que foi adotado um valor médio de 6,5 kWh/m³ para a estação analisada. Através da equação 8 pode ser feito a estimativa de produção elétrica da granja.

$$P_{elétrica} = \frac{77,72}{24} \text{ m}^3/h \cdot 6,5 \text{ kWh/m}^3 \cdot 38\%$$

$$P_{elétrica} = 7,998 \text{ kW}$$

Adotando uma disponibilidade técnica de 685 horas mensais do motor-gerador, que equivale a aproximadamente 95,1% do tempo mensal, foi calculado a potencial mensal de geração de energia elétrica.

$$P_{elétricaMensal} = 7,998 \text{ kW} \cdot 685 \text{ horas}$$

$$P_{elétricaMensal} = 5478,63 \text{ kWh/mês}$$

Fedriço et al (2009) ao analisarem dados de consumo elétrico em 5625 residências, abrangendo 85,5% do território brasileiro, chegaram a um consumo médio por residência de 152,2 kWh/mês. Relacionando a produção teórica de energia elétrica na granja com a média brasileira de consumo por residência, calcula-se:

$$N_{Residências} = \frac{P_{elétricaMensal}}{C_{médio}}$$

$$N_{Residências} = \frac{5478,63}{152,2}$$

$$N_{Residências} = 35,99 \text{ residências}$$

Assim a produção de energia elétrica através do biogás coletado na ETE do criatório poderia abastecer aproximadamente 36 residências.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o trabalho realizado, algumas dificuldades foram encontradas no quesito de coleta de dados por conta da falta de algumas informações, como vazão do afluente que é encaminhado ao biodigestor e características físico-químicas dos dejetos, que foram necessárias algumas considerações levando em conta dados coletados por outros autores para empreendimentos similares.

Com os resultados obtidos, fica evidente a vantagem da implantação do sistema de tratamento anaeróbico por meio de biodigestores, pois, além da eficiência de remoção de DQO, que traz benefícios ambientais para toda a região onde está implantado e até para o próprio empreendimento ganhando visibilidade e destaque por conta de sua preocupação sustentável, o resultado teórico para produção de biogás é considerável e pode ter utilizações variáveis dentro da granja.

Além da pequena utilização do biogás já aplicado na granja para o aquecimento dos leitões, a estimativa feita no presente trabalho mostrou a potencial produção de energia elétrica com a implantação de um motor gerador, deixando assim um parecer favorável para que se inicie um projeto de aproveitamento energético desse biogás, verificando a viabilidade econômica com a análise do investimento necessário e tempo de retorno deste capital.

É sugestivo para trabalhos futuros análises laboratoriais que definem parâmetros físico-químicos dos dejetos do criatório em estudo e coleta de dados da vazão de entrada nos biodigestores, pois essas informações podem sofrer pequenas variações de acordo com as características de cada sistema de produção.

REFERÊNCIAS

- ANGONESE, A. R. *et al.* **Potencial de redução de emissão de equivalente de carbono de uma unidade suinícola com biodigestor.** Revista Engenharia Agrícola, v.27, n.3, p.648-657, Jaboticabal, 2007.
- AIRES, A. W. *et al.* **Avaliação do desempenho de um biodigestor canadense modificado no tratamento de dejetos de suínos.** Engevista, v.16, n.4, p.329-338, 2014.
- BARANA, A. C. *et al.* **Tratamento de água residual do processamento de mandioca (manipueira) utilizando biodigestor anaeróbio de duas fases.** Ciência e Tecnologia do Alimento. v. 20, n.2, p.183-186, Campinas, 2000.
- BARRETO, A. C; CAMPOS, C. M. M. **Avaliação de um sistema de irrigação autopropelido aplicando água residuária de suinocultura.** Ciênc. Agrotec., v.33, Edição especial, p.1752-1757, 2009.
- BOTTECCHIA, L. B. **A fórmula barométrica como instrumento de ensino em química.** Revista Química nova, v.32, n.7, p.1965-1970, 2009.
- BUSATO, R. **Desempenho de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente como tratamento de efluente de reator UASB: Estudo de caso da ETE de IMBITUVA.** Orientador: Prof. Dr. Uivald Pawlowsky. 2004. 237 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de recursos hídricos e ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- CANCELIER, A. *et al.* **Avaliação da produção de biogás de dejetos de suínos utilizando a metodologia de superfície resposta.** Eng. Sanit. Amb., v.20, n.2, p.209-217, 2015.
- CARVALHO, B. V. *et al.* **Avaliação de sistemas de gestão ambiental em granjas de suínos.** Revista Ambiente e Água. v. 10, n.1, Taubaté, 2014.
- CASTRO, L. R. *et al.* **Influência da temperatura no desempenho de biodigestores com esterco bovino.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.2, n.1, p.97-102, Campina Grande, 1998.

CHERNICHARO, C. A. de L. **Reatores anaeróbios**. 2ª ed. ampliada e atualizada. Belo Horizonte: DESA – UFMG, 2016, 379 p, v. 5.

CHERNICHARO, C. A. de L. **Reatores Anaeróbios: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuais**. Belo Horizonte: SEGRAC, 1997. 245 p. v. 5.

COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto**. Orientador: Prof. Dr. José Goldenberg. 2006. 194 f. Dissertação (Mestrado em energia) –Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

DEGANUTTI, R. *et al.* **Biodigestores rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada**. Departamento de Artes e Representação Gráfica, FAAC – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2002.

DELEO, R. O. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono**. Orientador: Prof. Dr. José Carlos Melo Vieira Júnior. 2009. 98 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia elétrica) –Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

DIAS, A. C. *et al.* **Manual Brasileiro de boas práticas na produção de suínos**. Brasília, DF: ABCS, EMBRAPA Suínos e Aves, 2011. 140 p. Disponível em: <http://issuu.com/revistaabcs/docs/manual_brasileiro_de_boas_praticas> Acesso em: 16 out. 2019

DIESEL, R. *et al.* **Boletim informativo: Coletânea de tecnologias sobre dejetos de suínos**. EMBRAPA Suínos e Aves – EMATER/RS, 2002.

FARIAS, R. M. *et al.* **Biodigestão anaeróbia de dejetos de poedeiras coletados após diferentes períodos de acúmulo**. Ciência Rural, v.42, n.6, p.1089-1094, Santa Maria, 2012.

FEDERIZZI, M. *et al.* **Biodegradação de resíduos lignocelulósicos gerados na banicultura e sua valorização para a produção de biogás**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.4, p.438-443, Campina Grande, 2009.

FEDRIGO, N. S. *et al.* **Usos finais de energia elétrica no setor residencial Brasileiro**. 94 f. Relatório de Iniciação Científica – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

FERREIRA, W. P. M. *et al.* **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato – Considerações sobre a partida.** Revista Engenharia Agrícola, v.25, n.2, p.530-539, Jaboticabal, 2005.

FREITAS, F. F. *et al.* **Construção de um Biodigestor didático para a Estação Ciências do Parque Tecnológico de Itaipu.** Revista Brasileira de Extensão Universitária, v.9, n.2, p.65-74, 2018.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE – FATMA. Instrução Normativa nº 11, outubro de 2014. Suinocultura. **Recomendações técnicas para aplicações fertilizantes orgânicos de suínos e monitoramento da qualidade do solo adubado.**

Disponível em:

<<http://www.fatma.sc.gov.br/ckfinder/userfiles/arquivos/ins/11/IN%2011%20Suinocultura.doc>> Acesso em: 26/09/19

GONÇALVES, A. C. *et al.* **Remoção de metais pesados tóxicos Cádmio, Chumbo e Cromo em biofertilizante suíno utilizando macrófita aquática como bioindicador.** Acta scientiarum technology, v.30, n.1, p.9-14, Maringá, 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Arapiraca.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/limoeiro-de-anadia/panorama>> acessado em: 05/09/19.

KARLSSON, T. **Manual Básico de Biogás.** Lajeado: UNIVATES, 2014. 69 p. Disponível em: <https://www.univates.br/editora-univates/media/publicacoes/71/pdf_71.pdf.> Acesso em: 02 jul. 2019

KOSTANESKI, P. C. **Comparação da eficiência de lagoas de estabilização e biodigestores no manejo e tratamento de dejetos em empreendimentos da suinocultura no município de Toledo-PR.** Orientador: Prof. Dr. Armin Feiden. 2018. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2018.

KUROKI, V. *et al.* **Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbio para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola.** Revista Química nova, v.35, n.1, p.35-40, São Carlos, 2012.

LEITE, V. D. *et al.* **Tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos com alta e baixa concentração de sólidos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, p.190-196, Campina Grande - Paraíba, 2009.

LIMA, A. B. B. V. **Pós tratamento de efluente de reator anaeróbio em sistema sequencial constituído de ozonização em processo biológico anaeróbio.**

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel. 2006. 99 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

MALINOWSKY, C. **Tratamento dos resíduos sólidos orgânicos da UFSC através de biodigestor anaeróbio.** Orientador: Prof. Dr. Armando Borges de Castilho

Junior. 2016. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) –Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

MARCHI, B. **Disposição de efluentes de suínos em solo: Estudo de caso.**

Orientador: Prof. Dr. Denis Miguel Roston. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

MARÇAL, C. **Proposta de implantação de um biodigestor anaeróbio de resíduos alimentares.** Orientadora: Su Ellen Costa Bottrel. 2016. 61 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de fora, 2016.

MARIANI, L. **Biogás: Diagnóstico e propostas de ações para incentivar seu uso no Brasil.** Orientadora: Prof^a. Dra. Carla Kazue Nakao Cavaleiro. 2018. 144 f. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Snergéticos) –Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

METCALF, Leonard *et al.* **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos.** 5. ed. Belo Horizonte: McGraw Hill Brasi, 2015. 2008 p.

MOGHRABI, J. A. *et al.* **Tratamento anaeróbio da água residuária de frigorífico com uso de biodigestores: Utilização de remediadores biológicos para produção de biogás.** Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas, v.7, n.2, p.77-85, 2013.

NASCIMENTO, R. C. *et al.* **Impactos ambientais da suinocultura no município de Uberlândia (MG): Possibilidades de sua mitigação por meio do uso de**

biodigestores. Revista Caminhos de Geografia, v.13, n.43, p.230-243, Uberlândia, 2012.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989, 422 p.

PAINI, V. **Geração de biogás a partir da utilização de resíduos orgânicos da indústria alimentícia do ramo de candies**. Orientadora: Profª. Dra. Maria Cristina de Almeida Silva. 2017. 88 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) – Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2017.

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**. Orientador: Prof. Dr. José Roberto Moreira. 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado em Energia) –Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PESSUTO, J. *et al.* **Comparação da produção de biogás a partir da digestão anaeróbia de diferentes tipos de lodo**. Revista Scientia Cum Industria, v.4, n.2, p.69-73, 2016.

PINÃS, J. A. V. *et al.* **Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação com modelos LanGEM (EPA) e Biogás (Cetesb)**. Revista Brasileira de Estudos de População, v.33, n.1, p.175-188, Rio de Janeiro, 2016.

PONTES, P. P. **Reatores UASB aplicados ao tratamento combinado de esgotos sanitários e lodo excedente de filtro biológico percolador**. Orientador: Carlos Augusto Chernicharo. 2003. 198 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) –Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

PREVIDELLI, M. A. *et al.* **Biodigestão anaeróbia dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta**. Revista Brasileira de Zootecnia, v.41, n.6, p.1533-1538, Jaboticabal, 2012.

PROBIOGÁS, SEBASTIAN R. **Análise técnico-econômica de produção de energia elétrica em ETEs no Brasil**. Ministério das Cidades, 145p. 2016.

SCHMIDT, V. *et al.* **Esterqueiras: Avaliação físico-química e microbiológica do dejetos de suíno armazenado.** Revista Engenharia Agrícola, v.27, n.2, p.537-543, Jaboticabal, 2007.

SCHRANK, S. G. **Tratamento anaeróbio de águas residuárias da indústria têxtil.** Orientador: Hugo Moreira Soares. 2000. 107 f. Tese (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

SOARES, Carolina *et al.* **Fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia na produção de biogás.** Revista Nativa, v.5, p.509-514, Marechal Cândido - Paraná, 2017.

SOLER, A. L. D. **Levantamento de dados da geração e caracterização de dejetos na suinocultura em fase de creche e terminação.** Orientador: Prof. Dr. Odorico Konrad. 2012. 80 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) – Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2012.

SUZUKI, A. B. P. *et al.* **Utilização de manipueira juntamente com sólidos da cama de aviário em biodigestores para geração de biogás.** Revista Ambiência, v.8, n.3, p.809-820, Guarapuava, 2012.

TORRES, P. **Prespectivas del tratamiento anaerobio de Aguas residuales domésticas em Países en desarrollo.** Revista EIA, n.18, p.115-129, Medellín - Colômbia, 2012.

VILLELA, L. V. E. *et al.* **Estudo de utilização do efluente de biodigestor no cultivo hidropônico de meloeiro.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.1, p.72-79, Campina Grande, 2003.

VIVAN, M. *et al.* **Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.3, p.320-325, Campina Grande, 2010.

XAVIER, C. A. N. *et al.* **Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo.** Revista Engenharia Agrícola, v.30, n.2, p.212-223, Jaboticabal, 2010.