

CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ - FAG

ANDREY GUSTAVO GIONGO

**ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM CATALISADOR EM BIODIGESTORES
DE DEJETOS SUÍNOS PARA ACELERAÇÃO DO PROCESSO DE BIODIGESTÃO**

**CASCADEL – PR
2018**

ANDREY GUSTAVO GIONGO

**ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM CATALISADOR EM BIODIGESTORES
DE DEJETOS SUÍNOS PARA ACELERAÇÃO DO PROCESSO DE BIODIGESTÃO**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz – FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Professor Orientador: Eliseu Avelino Zanella Junior

**CASCADEL – PR
2018**

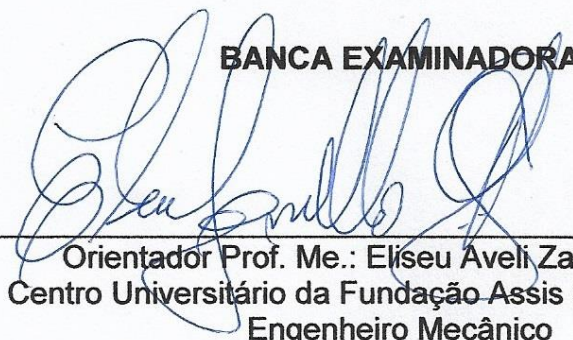
CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ - FAG

ANDREY GUSTAVO GIONGO

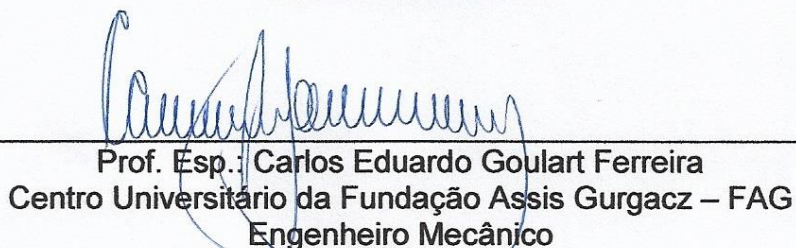
ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM CATALISADOR EM BIODIGESTORES DE DEJETOS SUÍNOS PARA ACELERAÇÃO DO PROCESSO DE BIODIGESTÃO

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz - FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor Engenheiro Mecânico Mestre Eliseu Avelino Zanella Junior.

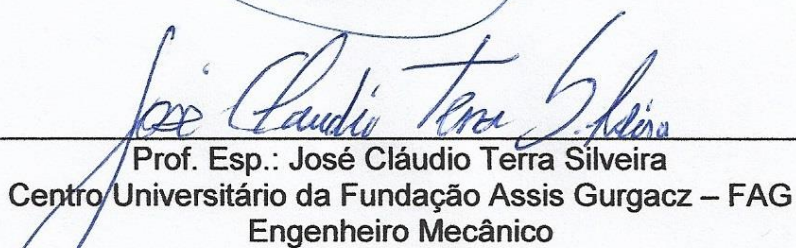
BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof. Me.: Eliseu Avelino Zanella Junior
Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico



Prof. Esp.: Carlos Eduardo Goulart Ferreira
Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico



Prof. Esp.: José Cláudio Terra Silveira
Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico

Cascavel, 19 de junho de 2018.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, que me apoiou em todos os momentos de dificuldade, nunca medindo esforços para a conclusão da minha formação acadêmica. Em especial aos meus pais, Rosani e Luciano, meus avós, Alda e Carlos, e minha namorada Thays, que estiveram presentes durante toda a jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus.

Aos meus pais, avós e todos os familiares pelo apoio em momentos de dificuldade durante esta longa caminhada.

À minha irmã Alana e minha namorada Thays, pela ajuda e companheirismo exercido durante todo o percurso.

Ao professor orientador Eliseu, pela paciência e por ter desempenhado papel fundamental no norteamento deste trabalho.

À propriedade rural da família Patzlaff, por ceder a matéria orgânica utilizada neste estudo.

A todos os amigos que estiveram ao lado em todos os momentos de dificuldade impostos no decorrer dessa caminhada.

E a todos os demais, obrigado.

RESUMO

O termo biodigestor trata-se de uma tecnologia relativamente antiga, com surgimento por volta da metade do século XIX, e tem como principal objetivo a geração de biogás a partir de dejetos orgânicos, o qual pode ser utilizado como gás combustível para diversas finalidades. Neste contexto, o estudo em questão, tem por objetivo avaliar meios de acelerar o processo de biodigestão, e por consequência otimizar a produção de biogás em biodigestores anaeróbicos alimentados com dejetos suínos. Para o desenvolvimento do trabalho, inicialmente analisou-se a literatura específica para formulação de um referencial teórico, com isso desenvolveu-se dois protótipos de biodigestores anaeróbicos com mesmo volume e menores proporções, e com sistema de alimentação descontínuo. Com os protótipos em operação, definiu-se a taxa de produção de biogás normal dos equipamentos, a qual passou a servir como parâmetro base para os demais testes. Dessa forma, pôde-se determinar o percentual de variação em cada um dos três métodos utilizados, para então com os resultados obtidos, determinar a existência ou não de um meio de acelerar o processo químico de biodigestão que ocorre no interior dos biodigestores, e resultam na produção de biogás.

Palavras-chaves: Biodigestor. Taxa de produção de biogás. Otimização do sistema.

ABSTRACT

The term biodigester is a relatively old technology, with emerge around the middle of the 19th century, and has as main objective the generation of biogas from organic wastes, which can be used as a fuel gas for multiple purposes. In this context, the study in subject, has for objective to evaluate means of accelerating the biodigestion process, and as consequence to optimize the biogas production in anaerobic biodigestores fed with organic wastes of swines. For the development of the work, the literature was initially analyzed to formulate a theoretical reference, with that was developed two prototypes of anaerobic biodigestors with same volume and smaller proportions, and with discontinuous feeding system. With the prototypes in operation, the production rate of normal biogas of the equipment was defined, which started to serve as a base parameter for the other tests. Thereby, it was possible to determine the percentage of variation in each of the three methods used, with the results obtained, to determine the existence or not of a way to accelerate the chemical process of biodigestion that occurs inside the biodigesters, and result in the production of biogas.

Word-keys: Biodigester. Tax of biogás production. Optimization of the system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vista frontal: Corte transversal de um biodigestor modelo indiano.	24
Figura 2 – Vista isométrica: Corte transversal de um biodigestor modelo indiano. ...	24
Figura 3 – Vista frontal: Corte transversal de um biodigestor modelo chinês.....	26
Figura 4 – Vista isométrica: Corte transversal de um biodigestor modelo chinês.	26
Figura 5 – Processo de digestão anaeróbica e micro-organismos.....	28
Figura 6 – Desempenho brasileiro na produção de suínos em 2016.	31
Figura 7 – Sistemas de circulação de água quente.....	39
Figura 8 – Protótipo de biodigestor.	44
Figura 9 – Etapas de fabricação do coletor solar fechado plano.....	45
Figura 10 – Fabricação e instalação da serpentina de aquecimento.	46
Figura 11 – Protótipo de biodigestor aquecido com sistema de aquecimento.....	48
Figura 12 – Balança agrícola de madeira com capacidade para 300kg.....	51
Figura 13 – Procedimento de pesagem.	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Percentual de produção de carne suína por estado brasileiro.	32
Gráfico 2 – Percentual de exportação de carne suína por estado brasileiro.	32
Gráfico 3 – Fontes de emissões mundiais de gás metano.	34
Gráfico 4 - Percentual de produção de biogás.	55
Gráfico 5 – Percentual de aumento na produção de biogás.	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Proporção de água x dejetos.....	19
Quadro 2 – Comparativo de desempenho: Biodigestor chinês X indiano.	27
Quadro 3 – Composição geral do biogás gerado a partir de dejetos suínos.	35
Quadro 4 – Equivalência do biogás com relação aos combustíveis usuais.	36
Quadro 5 – Produção de biogás a partir de dejetos suínos.	36
Quadro 6 – Quadro para coleta de dados.	52
Quadro 7 – Quadro para verificar o percentual de aumento entre as etapas.....	53
Quadro 8 – Resultado da coleta de dados.	54
Quadro 9 – Percentual de aumento na produção de biogás com relação a etapa 1.	56

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal

AGROSTAT – Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro

CH₄ – Fórmula molecular do Gás Metano

CO₂ – Fórmula molecular do Dióxido de Carbono

CSTR – Continuous stirred-tank reactor (Reator de tanque com agito contínuo)

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

HNO₃ – Fórmula molecular do Ácido Nítrico

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

N - Fórmula molecular do Nitrogênio

NH₃ – Fórmula molecular da Amônia

N₂O - Fórmula molecular do Óxido Nitroso

PFVFSG – Programa de Fortalecimento da Vinicultura Familiar da Serra Gaúcha

PVC – Policloreto de polivinila

USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo geral	14
1.1.2 Objetivos específicos.....	14
1.2 JUSTIFICATIVA	15
1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	15
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 A HISTÓRIA DOS BIODIGESTORES ANAERÓBICOS	17
2.2 DEFINIÇÃO: O QUE É UM BIODIGESTOR.....	18
2.3 FUNCIONAMENTO DE UM BIODIGESTOR	19
2.3.1 Sistema de alimentação contínuo	19
2.3.2 Sistema de alimentação descontínuo.....	21
2.4 TIPOS DE BIODIGESTORES	22
2.4.1 Biodigestor indiano.....	23
2.4.2 Biodigestor chinês.....	25
2.5 DIGESTÃO ANAERÓBICA	27
2.5.1 Reações químicas presentes no processo.....	29
2.6 SUINOCULTURA: A PRODUÇÃO DE SUÍNOS	30
2.6.1 Problemas decorrentes da suinocultura	33
2.6.2 Potencial poluidor dos dejetos suínos	33
2.7 BIOGÁS.....	35
2.8 BIOFERTILIZANTES.....	37
2.9 GLICERINA LÍQUIDA BIDEUTILADA	37
2.10 SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR PARA ÁGUA QUENTE	38
2.10.1 Coletor solar	38
2.10.2 Reservatório térmico	39
2.10.3 Princípio de funcionamento e circulação de água	39
3 METODOLOGIA	41
3.1 TIPO DE ESTUDO E LOCAL DA PESQUISA.....	41
3.2 PROCEDIMENTOS PARA COLETA DA MATÉRIA ORGÂNICA.....	42

3.3 AVALIAÇÃO DE POSSÍVEIS ACELERADORES DE DECOMPOSIÇÃO	42
3.4 DESENVOLVIMENTO DO MODELO PARA TESTES	43
3.4.1 Protótipo de biodigestor simples	43
3.4.2 Desenvolvimento e fabricação do coletor solar	44
3.4.3 Serpentina de aquecimento.....	45
3.4.4 Protótipo de biodigestor aquecido com serpentina de aquecimento	47
3.5 PROPORÇÃO DA MISTURA (DEJETOS X ÁGUA).....	48
3.6 PARÂMETROS OPERACIONAIS.....	49
3.6.1 Tempo de confinamento.....	49
3.7 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA.....	49
3.7.1 Etapa 1	50
3.7.2 Etapa 2.....	50
3.7.3 Etapa 3.....	50
3.7.4 Etapa 4.....	50
3.8 INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE DADOS	51
3.9 ANÁLISE DOS DADOS.....	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	60
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
8 ANEXOS	64
ANEXO 1 – CUPOM FISCAL GLICERINA LÍQUIDA BIDEUTILIZADA	64
ANEXO 2 – ORÇAMENTO DE MATERIAIS UTILIZADOS	65
ANEXO 3 – SELO DE CALIBRAÇÃO DA BALANÇA AGRÍCOLA UTILIZADA.....	66

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados da USEPA a produção agropecuária é responsável por 20% da emissão de gases nocivos ao meio ambiente (OLIVEIRA, 2009). A criação de animais em confinamento ou semiconfinamento para abate, é considerado um dos principais problemas, isso devido ao enorme volume de dejetos gerados diariamente, sendo que em grande parte das propriedades não estão recebendo o tratamento adequado (BERTONCINI, 2011). Foi neste contexto que a figura do biodigestor mostrou um potencial interessante, pois além de oferecer a possibilidade de uma destinação adequada para quaisquer dejetos orgânicos, é capaz de produzir biogás, que pode ser utilizado de várias formas, inclusive para geração de energia elétrica, e ainda gera uma quantidade de biofertilizante como subproduto, podendo ser utilizado para o plantio (OLIVEIRA, 2014).

Este e outros fatores, fez com que os biodigestores fossem implantados de forma mais contundente no meio rural, principalmente nas fazendas de criação de animais, sejam eles bovinos, equinos, suínos e até mesmo em aviários (CARVALHO, 2009). O que antes era descarto passou a reduzir gastos, e em alguns casos, gerar até renda. Os dejetos produzidos pelos animais, quando não tratados da maneira correta, são extremamente nocivos ao meio ambiente, gerando gases que contribuem para o efeito estufa, e ainda contaminam o solo e a água quando próximos aos rios ou lençóis freáticos, o que não acontece nas propriedades que contam com um biodigestor (OLIVEIRA *et al.*, 2003).

Esses dejetos, antes descartados, passaram a servir como fonte de alimentação para o processo de decomposição presente no interior dos digestores, produzindo biogás e biofertilizantes. Quando bem direcionado o biogás gera energia elétrica, o que reduz o custo da conta de luz, ou em alguns casos, quando a produção é maior que o consumo, existe a possibilidade da venda do excedente para a concessionária responsável pela distribuição de energia elétrica (ROCHA, 2016).

Sabe-se que a produção de biogás e biofertilizantes a partir dos biodigestores é variado de acordo com as características construtivas, aliada a matéria orgânica utilizada para alimentação do mesmo (OLIVEIRA, 2014).

A proposta deste estudo é avaliar um meio de implementação de misturas ou novos meios para serem utilizados simultaneamente a matéria orgânica e a água que alimentam os biodigestores. E através de testes determinar uma espécie de

catalisador, que possa acelerar o processo químico de decomposição da matéria orgânica no interior dos biodigestores anaeróbicos, aumentando o rendimento do sistema, e conseqüentemente a produção de biogás, porém sem alterar suas características construtivas. Vale ressaltar que os testes serão voltados exclusivamente para dejetos de suínos.

1.1 OBJETIVOS

Em uma pesquisa científica, os objetivos têm a finalidade indicar o que o pesquisador pretende desenvolver, e principalmente, direcionar o projeto de pesquisa (MATTOS, 2015). No estudo em questão, os objetivos foram desenvolvidos de forma a facilitar a tomada de decisões nos aspectos metodológicos, com a finalidade de atingir as metas estipuladas no tema do trabalho, com isso temos:

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar meios de acelerar o processo químico de biodigestão de dejetos suínos inseridos em um biodigestor anaeróbico.

1.1.2 Objetivos específicos

- Recolher e analisar a literatura específica, para determinar possíveis aceleradores de decomposição.
- Realizar a fabricação de um protótipo de um biodigestor de menor proporção, a fim de executar os experimentos propostos.
- Avaliar os resultados obtidos, e verificar um possível catalisador para o processo de biodigestão, em biodigestores anaeróbicos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa se justifica através da avaliação de um meio de acelerar o processo químico de biodigestão, que resulta na geração de biogás, devido à dificuldade na destinação correta dos dejetos orgânicos gerados em propriedades granjeiras de criadores de suínos (BERTONCINI, 2011). Tal medida auxiliaria na resolução de um problema ambiental, e conseqüentemente melhoraria o rendimento do sistema, e aumentaria a produção de biogás e biofertilizantes.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Como melhorar o rendimento de um biodigestor, e aumentar a produção de biogás, sem alterar as suas características construtivas?

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa limitou-se em determinar meios para acelerar o processo de digestão anaeróbica em biodigestores alimentados com dejetos suínos, sem alterar suas características construtivas, ou a matéria orgânica utilizada na alimentação.

Para tal, foi desenvolvido um protótipo de um biodigestor com modelo de alimentação descontínua, com menores proporções e capacidade de 240 litros, instalado no município de Pérola D'Oeste – PR.

O método adotado para verificação baseou-se no modelo comparativo, ou seja, foi determinado a taxa de produção de biogás normal do protótipo, e através dos experimentos, foi comparado os resultados, verificando a diferença de percentual de geração de biogás existente entre cada um dos experimentos propostos.

O biogás gerado pelo equipamento não foi armazenado, sendo descartado através de um sistema de borbulhador. Para determinação da taxa de produção de biogás, foi levado em consideração a variação do peso inicial do substrato (água + dejetos) inserido no biodigestor com relação ao término de cada experimento. Os testes obedeceram a quantidade de dias estipulada, permanecendo 22 dias em confinamento.

Vale ressaltar que o objetivo do estudo não se trata do desenvolvimento de biodigestores, assim como não pretende desenvolver sistemas de aquecimento solar ou trocadores de calor. Os protótipos de biodigestores, coletor solar e serpentina de aquecimento utilizadas no estudo, serviram apenas como ferramentas para verificar a existência de um meio de agilizar o processo químico de biodigestão em biodigestores anaeróbicos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A HISTÓRIA DOS BIODIGESTORES ANAERÓBICOS

Por volta da metade do século dezenove, surgiram na Índia os primeiros biodigestores, contudo o biogás foi descoberto muito antes disso, graças ao pesquisador italiano Alessandro Volta. No ano de 1776, durante suas férias, enquanto passeava de barco no lago Maggiore, Volta observou que ao revirar o fundo do lago, desprendiam-se bolhas gasosas, ele averiguou que as mesmas quando armazenadas em tubos de ensaios, podiam ser queimadas. Volta denominou este gás como “gás inflamável nativo dos pântanos” (VANIN, 1999). Posteriormente descobriu-se que se tratava do gás metano (CH_4), que é gerado a partir da decomposição da matéria orgânica, e nada mais é do que o biogás.

Porém foi Humphry Davy em 1806 quem descobriu a origem da formação do gás metano. Davy identificou que a geração do gás se dava através da decomposição da matéria orgânica em ambientes sem oxigênio, com a presença de micro-organismos anaeróbicos (BUCI, 2012). Mesmo assim, a primeira unidade de geração de gás metano que se têm conhecimento, surgiu por volta de 1857, na Índia, e era utilizada para geração de gás combustível para abastecimento de um hospital local. Está unidade de geração foi a propulsora para a iniciação de estudos mais detalhados sobre o assunto, fazendo com que pesquisadores de diversas partes da Europa se aprofundassem na área, e estabelecessem parâmetros para uma fundamentação teórica a respeito da biodigestão anaeróbica.

Já em 1890 a ideia da biodigestão para produção de biogás se expandiu, foi nessa mesma época que Donald Cameron desenvolveu uma espécie de fossa séptica, que utilizava dejetos da própria população para a geração do gás metano, e posteriormente utilizada para a iluminação pública (NOGUEIRA, 1986).

Ainda, segundo Nogueira (1986), o primeiro biodigestor anaeróbico contínuo, foi desenvolvido em 1950, em Bombaim na Índia, a mesma cidade da qual se têm registro do primeiro biodigestor, fazendo com que a mesma seja conhecida como o “berço do biodigestor”.

Embora já existissem milhões de instalações de biodigestores em todo o mundo, foi em 1973 que o emprego dos biodigestores passou a ser utilizado pelos

países mais ricos, graças a crise energética que afetou o planeta neste mesmo ano. Entretanto, em nenhum outro país os biodigestores foram mais empregados que na China e na Índia (GASPAR, 2003).

Atualmente a utilização de biodigestores têm se intensificado não apenas em propriedades rurais de pequeno e médio porte, mas também em grandes propriedades, pequenas comunidades, restaurantes industriais e em vários locais que produzem uma quantidade de rejeitos orgânicos constantes. A capacidade de produzir biogás e biofertilizantes a partir de qualquer tipo de dejetos orgânicos, faz com que os biodigestores estejam inseridos em uma área que se mostra com enorme potencial de desenvolvimento, e de grande interesse.

2.2 DEFINIÇÃO: O QUE É UM BIODIGESTOR

Trata-se de um equipamento desenvolvido para geração de biogás e biofertilizantes, os quais são gerados através do processo químico de biodigestão promovido por bactérias anaeróbicas (OLIVEIRA, 2014).

Existem vários tipos e modelos de biodigestores, no entanto basicamente todos são compostos com dois reservatórios: um para deposição da matéria orgânica e outro para armazenamento do biogás. Ainda existem modelos que comportam apenas um compartimento, neste caso o biogás produzido é utilizado de modo contínuo ou armazenado em outros recipientes. A fabricação destes compartimentos pode ser feita em uma estrutura de alvenaria, concreto ou outros materiais (BUCCI, 2012).

O recipiente deve ser fechado para que não tenha a presença de ar, meio essencial para a sobrevivência dos micro-organismos anaeróbicos. As características construtivas variam de acordo com o modelo de cada um, podendo ser baseado no modelo indiano, que é o mais comumente encontrado, assim como o modelo chinês, mas também podemos encontrar algumas variações, com modelos artesanais descontínuos, ou seja, uma vez fechado o reabastecimento só se dá após a completa transformação do resíduo orgânico (OLIVEIRA, 2014).

O biodigestor anaeróbio pode ser alimentado com qualquer matéria orgânica, seja ela de produção vegetal, animal, ou até mesmo de atividades humanas, como fezes, urina e lixo doméstico (CARVALHO, 2009).

2.3 FUNCIONAMENTO DE UM BIODIGESTOR

O modo de operação de um biodigestor exige mais do que apenas abastecer o mesmo com os resíduos orgânicos. É importante conhecer a capacidade total do equipamento, o tempo de confinamento, assim como a correta proporção de “dejetos x água” (MATTOS; FARIAS, 2011).

A proporção de dejetos versus água se dá de acordo com o tipo de equipamento. Em geral, recomenda-se que biodigestores operem com uma concentração de sólidos entre 5% e 8%, e para que isso ocorra, adiciona-se mais ou menos água aos dejetos (ALVES, 2007). De maneira geral, o quadro 1 em sequência, ilustra a proporção indicada para cada tipo de substrato.

Quadro 1 – Proporção de água x dejetos.

Tipo de dejetos	Proporção (dejetos:água)
Suínos	1:2
Bovinos	1:1
Aves	1:3
Caprinos	1:3

Fonte: BGS (2014).

Mesmo podendo ser abastecido com qualquer matéria orgânica, a construção de um biodigestor geralmente está atrelada a uma necessidade de destinação de um determinado resíduo, portanto, é aconselhável que o biodigestor seja abastecido apenas com a matéria indicada, para que não exista uma variação na produção de biogás (OLIVEIRA, 2014). Ainda com relação ao sistema de alimentação dos biodigestores, encontramos dois modelos, os contínuos e os descontínuos, dos quais serão tratados em sequência.

2.3.1 Sistema de alimentação contínuo

Nos biodigestores que trabalham com sistema de alimentação contínua, a matéria orgânica diluída em água, é inserida de forma constante, ou seja, a mistura pode ser introduzida no biodigestor a qualquer momento (ROCHA, 2016). O substrato de matéria orgânica irá se misturar com os dejetos que já estão sofrendo a digestão

anaeróbica dentro do biodigestor. A nova massa que foi introduzida completa o compartimento de biodigestão fazendo com que o ciclo continue (BALMANT, 2009). Os rejeitos que são chamados de biofertilizante saem de maneira equivalente ao substrato que está sendo inserido no biodigestor. Enquanto os dejetos são inseridos pelo canal de entrada do biodigestor, o biofertilizando sai pelo canal de saída com ajuda de uma carga hidráulica gerada devido a massa extra inserida no equipamento (ROCHA, 2016).

Este sistema de alimentação é o que equipa os modelos indiano e chinês (BALMANT, 2009). Os equipamentos que contam com esse sistema, basicamente são compostos de três pontos de abertura: o canal de alimentação, onde é inserido o substrato no equipamento, o canal de descarga, que pode ser conhecido como decantador, que é onde sai o resíduo tratado, ou seja, o biofertilizante, e ainda, o mais importante, a válvula de retirada do biogás, que geralmente está disposta na parte superior do compartimento principal (ROCHA, 2016).

Os principais pontos negativos desse sistema estão na retirada do resíduo tratado e na dificuldade de estabilização do sistema (ROCHA, 2016). A desvantagem apresentada na descarga de biofertilizante, tem a ver com o fato de que parte dos subprodutos retirados na saída do biodigestor, não se encontram com o processo de digestão completamente concluído. Já em relação a dificuldade de estabilização dos dejetos a serem decompostos no interior do reservatório, os pontos negativos se dão por conta justamente do modo de alimentação, que possibilita a entrada de material a qualquer instante do processo de digestão, fazendo com que o sistema não consiga permanecer em constante equilíbrio (REIS, 2012).

Algumas das vantagens do sistema de alimentação contínua, é que a produção de biogás se dá de forma constante, e é aconselhável para locais com bastante concentração de rejeitos orgânicos, que impossibilitam a operação de um biodigestor com sistema de alimentação descontínuo, que resultaria em um acúmulo de rejeitos (ROCHA, 2016).

Vale ressaltar que mesmo sendo possível ser alimentado a qualquer momento, é aconselhável que o incremento do substrato seja inserido no biodigestor com intervalos de tempos definidos, para obedecer ao tempo de confinamento, que varia de equipamento para equipamento, e também de acordo com os dejetos utilizados na alimentação.

2.3.2 Sistema de alimentação descontínuo

Biodigestores com sistema de alimentação descontínuos, ou em batelada como são conhecidos, possuem uma forma diferente de funcionamento em relação ao modelo com alimentação contínua. Embora, podem possuir um canal de entrada e outro de saída, não se assemelham ao que acontece no outro sistema, pois neste caso o compartimento de digestão deve ser completamente preenchido, e em seguida fechado, para evitar a entrada de ar (ROCHA, 2016). Uma vez confinado, o compartimento onde está ocorrendo o processo de biodigestão só será aberto quando todo o substrato sofrer a decomposição. Após aberto o biofertilizante que restou na câmara de biodigestão será retirado, para que se possa dar início ao processo novamente, com o acréscimo de novos dejetos orgânicos. Esse método garante que o equipamento permaneça em equilíbrio, fazendo com que o potencial de geração de biogás seja maximizado, pois todo o material orgânico sofre a decomposição completa (FERREIRA, 2013).

Alguns dos pontos positivos desse modelo de alimentação são a fácil concepção e construção do equipamento, facilidade operacional, a estabilidade do processo químico de digestão anaeróbica, e principalmente o elevado percentual de geração de biogás em relação a quantidade de substrato inserida no equipamento (FERREIRA, 2013).

Como todos os equipamentos esse modelo de alimentação de biodigestores também possui alguns pontos negativos. O principal ponto fica por conta da produção não contínua de biogás, tendo em vista que o equipamento necessita ser esvaziado periodicamente, o que ocasiona um intervalo de tempo sem produção de biogás (FERREIRA, 2013). Outro aspecto negativo para este sistema, é que o mesmo não é aconselhável para localidades com alta produção de dejetos. (GONÇALVES, 2012). Vale ressaltar que o tempo de retenção hidráulica segundo Metz (2013), varia de acordo com fatores como temperatura e o percentual de sólidos dos dejetos, mas recomenda-se um tempo de confinamento entre 4 e 60 dias.

Recomenda-se que em propriedades ou localidades que pretendam utilizar este modelo de biodigestor, que opera com sistema de alimentação descontínuo, a fabricação de dois equipamentos de iguais proporções, para que assim possam trabalhar de modo que um supra a produção do outro, quando este estiver em fase de reabastecimento (FERREIRA, 2013).

2.4 TIPOS DE BIODIGESTORES

Como vimos anteriormente, os primeiros biodigestores que se tem conhecimento surgiram na Índia, por volta da metade do século dezenove. Este foi o ponto de partida que despertou o interesse no processo de biodigestão. A China foi um dos países que mais se interessaram pelos benefícios proporcionados pelos biodigestores, intensificaram os estudos e desenvolveram um modelo próprio de biodigestor. Com o avançar dos anos e a disseminação das informações relacionadas ao processo de biodigestão, outros países foram adaptando e desenvolvendo novos modelos de biodigestores (BALMANT, 2009).

Estes foram fatores determinantes para o acervo de modelos que existe nos dias de hoje. Embora os principais tipos de biodigestores utilizados no Brasil sejam do modelo indiano e chinês, existem vários outros modelos como: biodigestor português; biodigestor de lona; biodigestor a batelada; biodigestor CSTR que conta com um agitador para movimentar os dejetos internamente; entre outros modelos adaptados ou até mesmo construídos artesanalmente (BENINCASA, 1986).

Os biodigestores são divididos em duas categorias de uso: agrícola e sanitário, isto se dá devido ao tipo de dejetos utilizado no biodigestor. Para uso agrícola são alimentados com fezes, urina, e outros dejetos animais. Já os biodigestores sanitários podem ser alimentados com lixo orgânico, esgoto urbano, e outros tipos de dejetos. Temos a divisão dos modelos de biodigestores em função da quantidade de sólidos presentes nos dejetos de alimentação, onde os dejetos sanitários possuem uma maior concentração de sólidos, quando em relação aos dejetos animais. Tal fator faz com que o processo de biodigestão em cada caso possua uma característica própria, bem como um tempo de confinamento distinto, e outros fatores que divergem um do outro. Vale ressaltar que um biodigestor projetado para uso agrícola não fica invalidado para uso sanitário, ou vice-versa (REIS, 2012).

Porém, como o presente estudo trata de biodigestores voltados para a área agrícola, mais precisamente para biodigestores de dejetos suínos, devemos destacar que os modelos de biodigestores mais indicados para esta área são os modelos indianos e chineses (BALMANT, 2009).

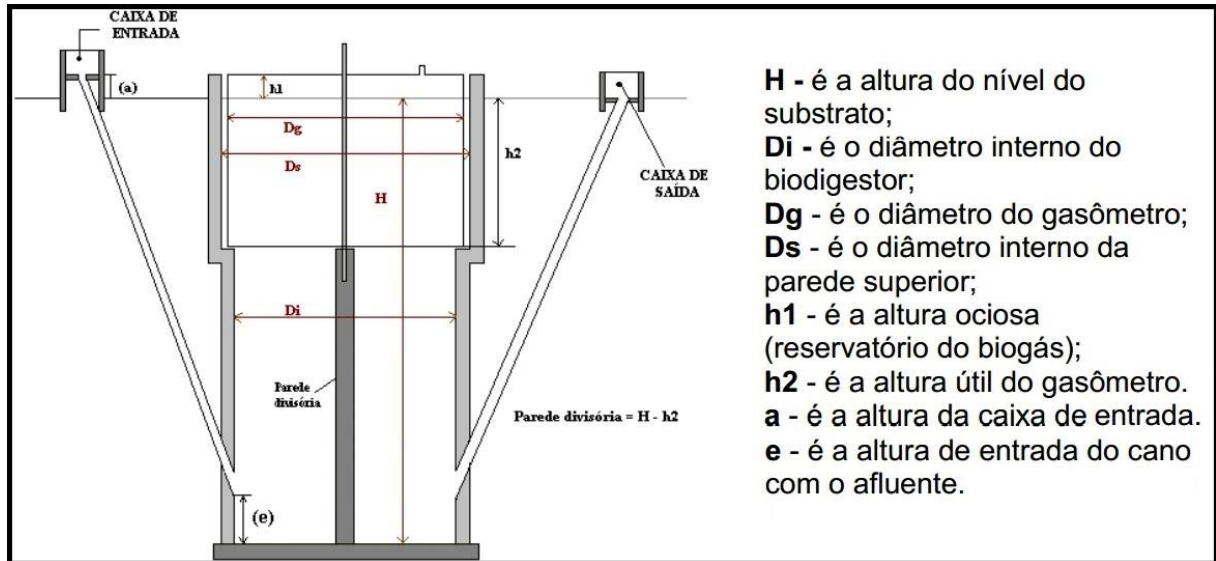
2.4.1 Biodigestor indiano

O modelo indiano consiste em um biodigestor caracterizado por possuir uma campânula, geralmente fabricado com material metálico que é utilizada como gasômetro, e pela existência de uma parede de separação na câmara de biodigestão. A campânula fica envolvida em líquido para eliminar a entrada de ar na câmara de fermentação. Ela permite que a pressão se mantenha constante dentro do equipamento, se movendo para cima ou para baixo conforme o nível de dejetos e a produção de biogás. Já a parede de separação da câmara, existe para que os dejetos tenham uma circulação interna, facilitando o processo de digestão anaeróbico (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

O modo de operação do biodigestor indiano recomenda-se que os dejetos tenham uma concentração de sólidos de no máximo 8%, para que o substrato possa circular dentro da câmara de digestão, prevenindo assim possíveis entupimentos na tubulação (DEGANUTTI *et al.*, 2002). O principal fator que faz com que o biodigestor do modelo indiano seja um dos mais indicados para o meio agrícola, é justamente pelo nível de concentração de sólidos, que no caso de substratos de dejetos animais é relativamente baixa. Isso sem contar o sistema de alimentação contínuo, e ainda a existência da separação na câmara de digestão, processos que são facilitados pela utilização de resíduos com baixa concentração de sólidos totais (REIS, 2012).

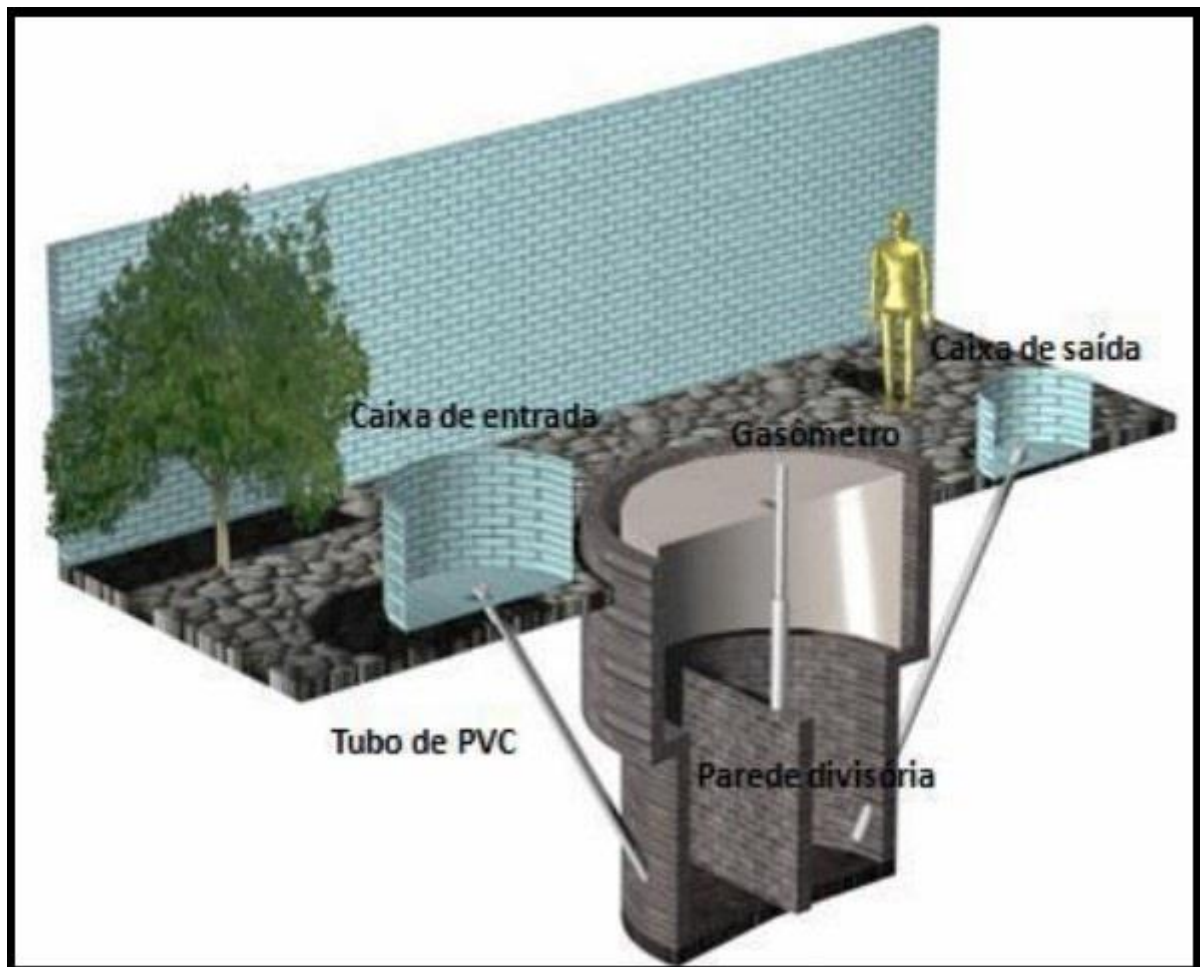
Em relação a fabricação, o modelo indiano é considerado de fácil construção, e com investimento razoavelmente baixo, embora o custo varia de acordo com as dimensões do equipamento, geralmente a campânula requer o maior investimento (DEGANUTTI *et al.*, 2012). A figura 1 mostra um corte transversal da vista frontal do equipamento, juntamente com a respectiva legenda das dimensões, e busca demonstrar de forma mais clara as características de um biodigestor indiano. A figura 2 disposta em sequência, demonstra o mesmo modelo de biodigestor, porém através de uma vista isométrica, e com o mesmo corte transversal.

Figura 1 – Vista frontal: Corte transversal de um biodigestor modelo indiano.



Fonte: Autor (2017).

Figura 2 – Vista isométrica: Corte transversal de um biodigestor modelo indiano.



Fonte: Autor (2017).

2.4.2 Biodigestor chinês

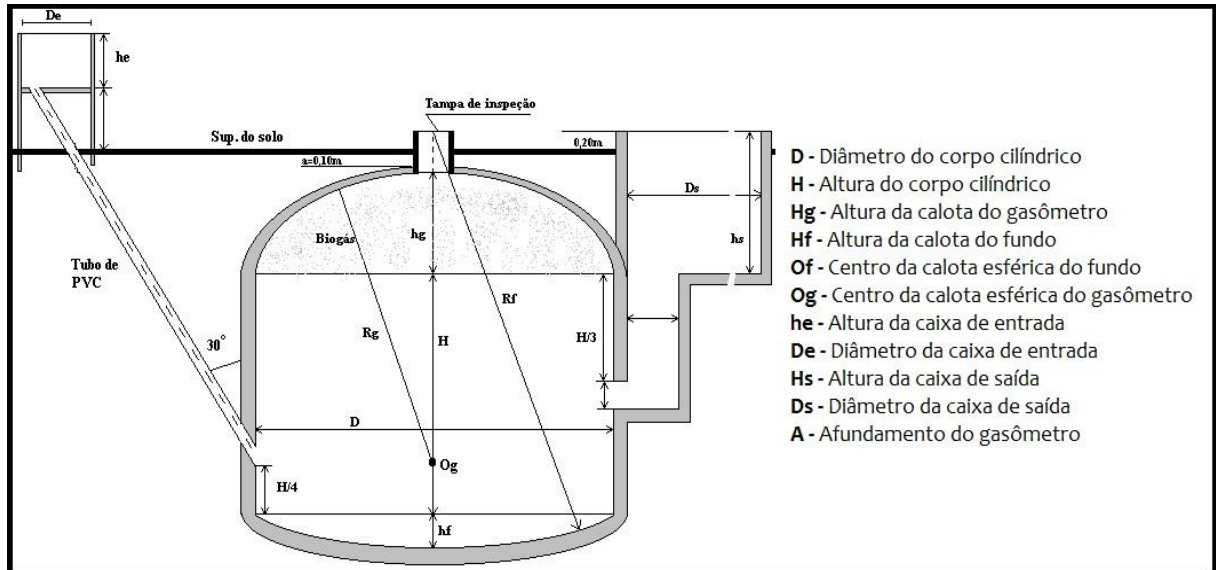
Os biodigestores do modelo chinês são compostos inteiramente por alvenaria, e dispensam a presença da campânula como no modelo indiano. Seu funcionamento é baseado no princípio da prensa hidráulica, ou seja, existe aumento de pressão no interior do equipamento, esse aumento de pressão é justamente o que resulta no deslocamento do material fermentado para a caixa de saída do biodigestor. Quando despressurizado o fluxo ocorre no sentido contrário (GONÇALVES, 2012).

Quanto ao modo de fabricação, o mesmo é construído inteiramente com alvenaria, o que reduz os custos totais de sua fabricação. Porém é relativamente mais complexo de se fabricar, isso devido ao formato cilíndrico existente na parte superior do gasômetro e no fundo do equipamento. Ainda se faz necessário a realização de uma impermeabilização na estrutura para evitar vazamentos de biogás (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

De acordo com Deganutti *et al.* (2002), neste modelo de equipamento é importante que exista uma válvula de alívio de pressão na parte superior da câmara onde fica o gasômetro, regulada para que mantenha a pressão de biogás em um nível seguro. Caso a pressão interna do equipamento atinja a pressão de abertura da válvula, a mesma libera uma parte do biogás para a atmosfera, a fim de manter a pressão abaixo do limite de ruptura da estrutura.

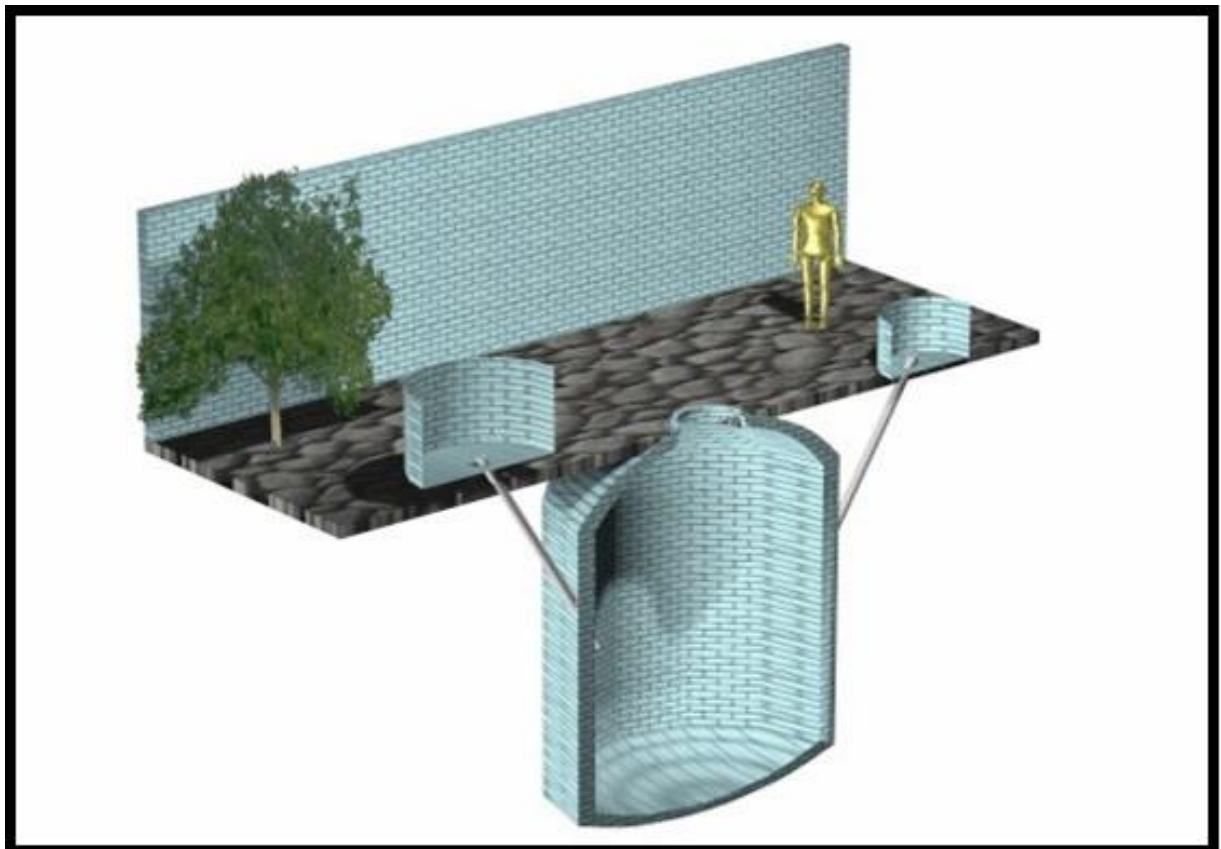
O sistema de alimentação é contínuo, porém não é recomendado para grandes volumes de dejetos, sendo assim empregado em propriedades com produção de dejetos em pequena escala. Como no modelo indiano, o biodigestor chinês também admite uma concentração de sólidos totais abaixo de 8%, a fim de evitar entupimentos e facilitar a circulação interna do substrato (GONÇALVES, 2012). Em sequência na figura 3 podemos visualizar a vista frontal de um biodigestor modelo chinês em um corte transversal, juntamente de suas respectivas dimensões e legendas. Na figura 4, vemos o mesmo corte transversal através de uma vista isométrica.

Figura 3 – Vista frontal: Corte transversal de um biodigestor modelo chinês.



Fonte: Autor (2017).

Figura 4 – Vista isométrica: Corte transversal de um biodigestor modelo chinês.



Fonte: Autor (2017).

O modelo chinês quando em comparação com o modelo indiano, apresentam desempenhos parecidos. O biodigestor indiano possui uma eficiência levemente

superior ao modelo chinês na produção de biogás e redução dos sólidos (DEGANUTTI *et al*, 2002). Podemos visualizar esta diferença através do quadro 2, disposto em sequência, que mostra um comparativo de desempenho entre um biodigestor do modelo indiano e outro de modelo chinês.

Quadro 2 – Comparativo de desempenho: Biodigestor chinês X indiano.

Proporção	Biodigestor	
	Chinês	Indiano
Redução de sólidos totais (%)	37	38
Produção média de biogás (m ³ /dia)	2,7	3,0
Produção média de biofertilizante (l/m ³)	489	538

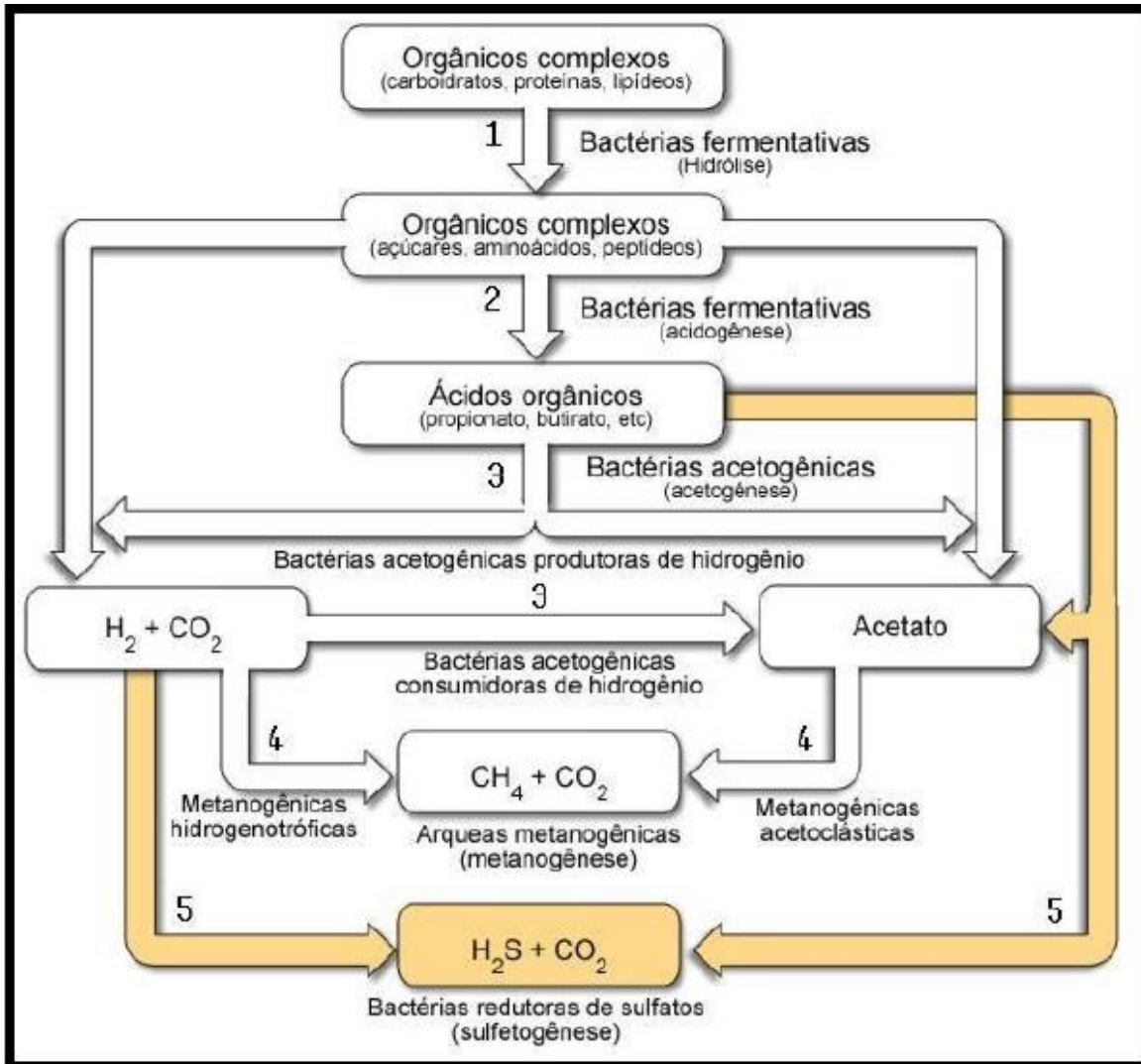
Fonte: Lucas Junior (1984).

Vale ressaltar que ambos os equipamentos utilizados para desenvolvimento da tabela comparativa possuem as mesmas dimensões, com capacidade de 5,5 m³, e foram abastecidos com o mesmo substrato, que neste caso foi dejetos bovinos (DEGANUTTI *et al*, 2002).

2.5 DIGESTÃO ANAERÓBICA

Digestão anaeróbica, ou biodigestão anaeróbica, tem por definição o processo natural de decomposição ou degradação da matéria orgânica, através de micro-organismos anaeróbicos, sem a presença de oxigênio, e tem como resultante a produção de biogás e biofertilizantes (GONÇALVES, 2012). De acordo com Chernicharo (1997), o ciclo da biodigestão anaeróbica é constituído de inúmeras reações químicas, mas pode ser dividido em quatro etapas principais: Hidrólise; Acidogênese; Acetogênese; e Metanogênese. Se levarmos em consideração a fase de formação do biofertilizante, acrescentamos mais uma etapa, a da Sulfetogênese. Na figura 5, abaixo, é possível visualizar o ciclo completo do processo anaeróbico com todas as etapas citadas, bem como quais são e onde são originados os micro-organismos responsáveis por cada reação química. Partindo do substrato orgânico inicial, até a última etapa com a formação do biogás e biofertilizante.

Figura 5 – Processo de digestão anaeróbica e micro-organismos.



Fonte: Lettinga *et al.* (1996).

O processo de digestão anaeróbica tem sido utilizado em grande escala para tratamento de resíduos orgânicos de alta resistência, e principalmente lodos residuais. Porém, atualmente devido aos ótimos resultados obtidos, está sendo empregado no tratamento de resíduos diluídos, que é o caso dos biodigestores anaeróbicos (ROCHA, 2016).

As reações estão diretamente ligadas aos fatores de temperatura, já que algumas etapas da digestão dependem de uma quantidade de calor. Segundo Metcalf e Eddy (1991), podemos assumir três tipos de fermentação anaeróbica de acordo com a temperatura de operação: mesofílica, que possui uma temperatura variando de 30°C até 35°C; termofílica, acima de 50°C; e psicofílica, com temperaturas inferiores a 25°C, sendo a termofílica a apresentar o melhor rendimento.

2.5.1 Reações químicas presentes no processo

- Hidrólise

É a primeira fase do processo, número 1 na figura 5 acima. Tem por finalidade dissolver a matéria orgânica, transformando-a em matéria orgânica volátil, para que o ciclo possa ter sequência (FARIA, 2017). Ainda nesta etapa ocorrem algumas transformações: proteínas em peptídeos; carboidratos em açúcares; e lipídios em ácidos graxos de cadeia longa e glicerol (ROCHA, 2016).

- Acidogênese

É onde ocorre a fermentação da matéria orgânica, representado pelo número 2 na figura 5. Nesta etapa os micro-organismos acidogênicos metabolizam os produtos gerados na primeira etapa, de hidrólise. Ao fim desta etapa são gerados acetato (CH_3COOH), hidrogênio (H_2), dióxido de carbono (CO_2), e ácidos graxos voláteis, dentre eles propionato e butirato, que serão a base para formação do metano (CH_4) (METCALF; EDDY, 1991).

- Acetogênese

Assim como a acidogênese, a acetogênese é uma etapa líquida do processo, denominado e mostrado na figura 5 na etapa 3. Fase onde ocorre a oxidação dos resíduos após a conclusão da etapa acidogênese anterior, gerando ácidos orgânicos através de micro-organismos acetogênicos. As substâncias resultantes deste processo são as bases para a última etapa (CHERNICHARO, 1997).

- Metanogênese

Última fase do processo de biodigestão anaeróbica, etapa número 4 da figura 5. É a fase gasosa do processo, gerado a partir das metanobactérias, que reduzem o gás carbônico (CO_2) ou o acetato (CH_3COOH) de acordo com o tipo de micro-organismo que está presente (METCALF; EDDY, 1991). Segundo Gonçalves (2012), de 100% do metano produzido, as bactérias acetoclásticas são responsáveis por 70%,

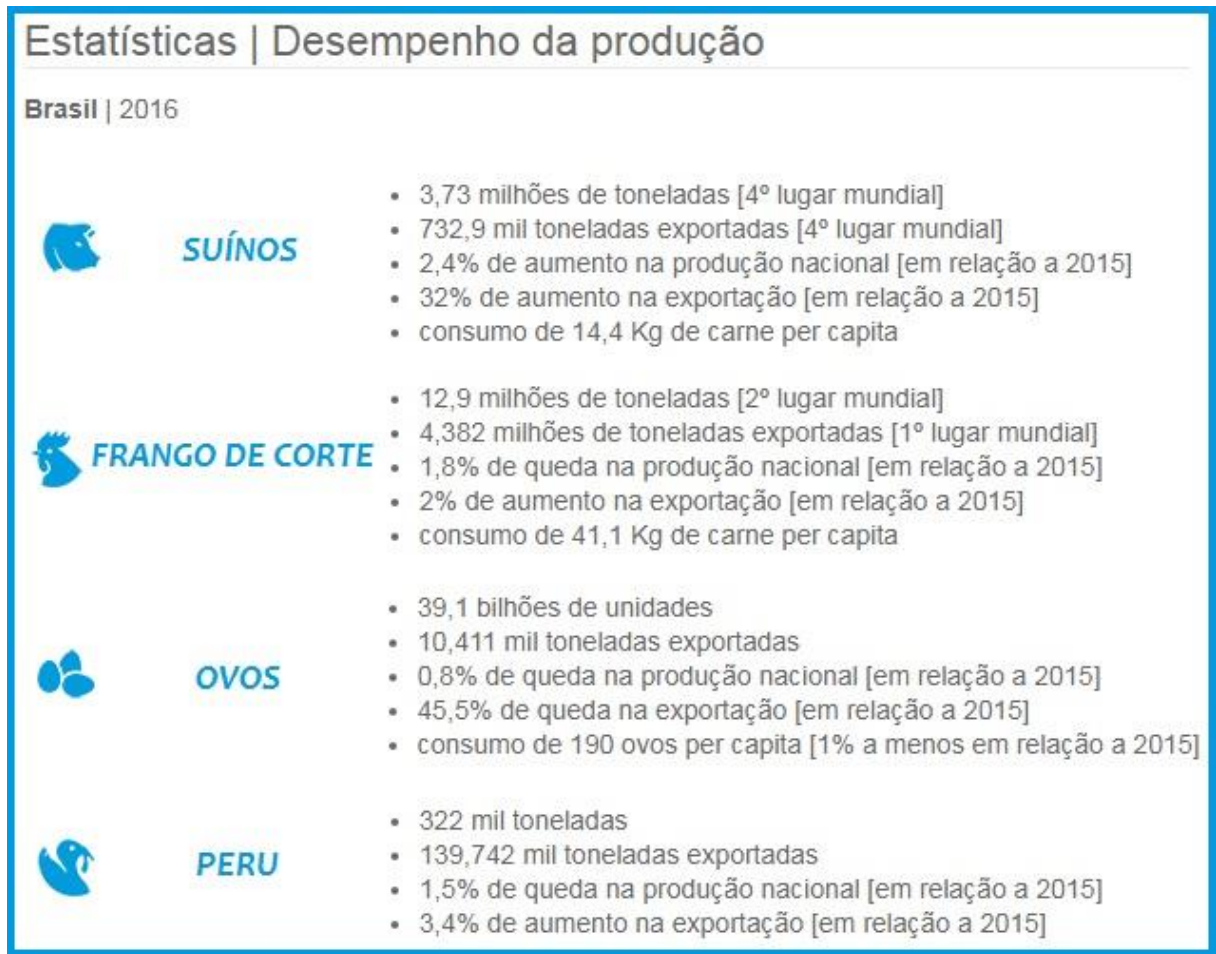
e utilizam ácidos acéticos como energia. Os outros 30%, ficam por conta das bactérias hidrogenotróficas, que utilizam o hidrogênio (H₂) como fonte energética, além de gás carbônico (CO₂) para maior liberação de energia, formando assim o gás metano (CH₄).

2.6 SUINOCULTURA: A PRODUÇÃO DE SUÍNOS

A suinocultura é definida como a criação de porcos em confinamento com atividades controladas, a fim de otimizar o desenvolvimento para o abate (CARVALHO *et al.*, 2013). O consumo de carne suína é atualmente a proteína mais consumida no mundo, fazendo com que produção deste animal desperte cada vez mais o interesse dos empreendedores, e produtores rurais (AMARAL *et al.*, 2006).

Fontes atuais mostram que o Brasil atualmente é o quarto maior produtor de suínos no planeta, com cerca de 3,73 milhões de toneladas em 2016, dos quais 732,9 mil toneladas foram exportadas para diversos países. Quando analisamos as estáticas, e comparamos a suinocultura com aviários de criação de frangos de corte, criadouros de perus e produtores de ovos, por exemplo, vemos mais claramente o avanço na suinocultura, que foi o único que apresentou aumento na produção, quando comparado com o ano anterior (ABPA, 2017). Os dados levantados pelo ABPA dispostos na figura 6, a seguir ilustram essa afirmação.

Figura 6 – Desempenho brasileiro na produção de suínos em 2016.



Fonte: ABPA (2017).

Levando em consideração a produção de suínos de acordo com cada estado, o Paraná é o segundo colocado com 20,96%, perdendo apenas para o estado de Santa Catarina, que ostenta 26,11% da produção Brasileira. No quesito exportação, o Paraná perde a segunda colocação para o estado do Rio Grande do Sul, com 13,13% e 30,41%, respectivamente. Já Santa Catarina continua com a primeira colocação com 37,83% de exportação de carne suína (EMBRAPA, 2017). Podemos observar a classificação de cada estado nos gráficos dispostos em sequência, dos quais ilustram o percentual de produção e exportação de carne suína no Brasil.

Gráfico 1 – Percentual de produção de carne suína por estado brasileiro.



Fonte: AGROSTAT (2017).

Gráfico 2 – Percentual de exportação de carne suína por estado brasileiro.



Fonte: AGROSTAT (2017).

2.6.1 Problemas decorrentes da suinocultura

Aliado a constante crescente da prática da criação de suínos, a poluição gerada pelos dejetos, têm se mostrado um problema que até a década de 70, pouco influenciava na preservação do meio ambiente, tendo em vista que a quantidade de animais em criadouros era insignificante, se levado em consideração a quantidade existente nos dias de hoje. Os dejetos produzidos naquela época, eram utilizados como adubos orgânicos, e o excedente era absorvido pelo solo sem grandes dificuldades (CARVALHO *et al.*, 2013).

Porém, o cenário atualmente se alterou, e o principal problema decorrente da suinocultura passou a ser a enorme quantidade de dejetos produzidos diariamente. Segundo Bertoncini (2011), uma granja suína de pequeno porte, produz em torno de 10.000 litros de dejetos diariamente. Quando aumentamos o contexto, percebemos o problema que envolve a criação de suínos, pois quando totalizamos a quantidade de dejetos produzidos diariamente por todas as propriedades de granjeiros, temos uma enorme quantidade de dejetos, que até então não eram tratados da maneira adequada (BERTONCINI, 2011).

2.6.2 Potencial poluidor dos dejetos suínos

Os dejetos suínos são classificados pelos órgãos ambientais brasileiros como um grande potencial poluidor (CARVALHO, 2009). Quando não tratados da maneira correta, ou descartados em locais inadequados, os dejetos entram em decomposição, e passam por um processo que emite gases tóxicos que poluem a atmosfera, e ainda contaminam o solo e os mananciais devido aos resíduos contaminantes presentes nas fezes (FERREIRA, 2013).

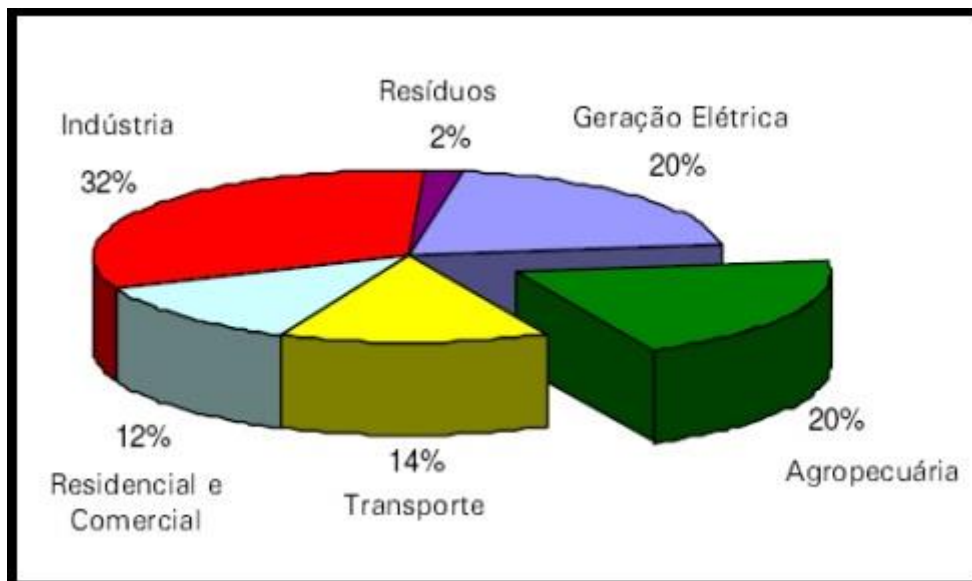
Segundo Ferreira (2013), quando descartados diretamente no solo, sem passar por nenhum tipo de tratamento, os danos ambientais causados pelos dejetos podem ser ainda mais significativos, já que a partir do processo de decomposição, surge a formação de ácido nítrico (HNO_3), que tem caráter potencialmente cancerígeno. Além de outras concentrações de nitrogênio e fosforo, que permanecem poluindo o solo e a água de mananciais e lenções freáticos.

Com relação a emissão de gases provenientes dos dejetos, segundo Oliveira *et al.*, (2003), a decomposição das fezes suínas emite gases tóxicos como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), amônia (NH_3), óxido nitroso (N_2O) e nitrogênio (N). Todos nocivos ao meio ambiente, tanto é, que são considerados como os principais responsáveis pelo efeito estufa, impedindo que o calor gerado no planeta seja dissipado no espaço, permanecendo na atmosfera e elevando a temperatura do planeta terra nas últimas décadas.

Embora o dióxido de carbono seja considerado um dos fatores mais contribuintes ao aquecimento global, é o gás metano que é classificado como um gás com grau de poluição mais intenso que o CO_2 . Estudos mostram que o metano é o segundo maior causador do efeito estufa, mesmo tendo um volume descartado na atmosfera muito menor que o de dióxido de carbono, isso devido ao metano ser cerca de vinte vezes mais forte que o dióxido de carbono, na capacidade de retenção de calor na atmosfera (COELHO, 2009).

De acordo com Oliveira (2009), as principais fontes de emissão de gás metano no planeta são: industriais (32%), geração elétrica (20%), agropecuária (20%), transportes (14%), fontes residenciais (12%), e resíduos (2%). Tais dados são ilustrados no gráfico 3, disposto em sequência.

Gráfico 3 – Fontes de emissões mundiais de gás metano.



Fonte: USEPA (2006).

2.7 BIOGÁS

É um gás gerado naturalmente pela fermentação anaeróbica, que quando em condições favoráveis produz o gás a partir de dejetos orgânicos, sejam eles animais, vegetais, industriais, residenciais e outros. O principal componente do biogás é o metano (CH₄), a percentagem deste gás na mistura varia de acordo com o tipo de dejetos ao qual foi utilizado para geração do biogás. Outra substância com concentração razoável é o dióxido de carbono (CO₂), ambos variam em torno de 65% e 25%, respectivamente, do total da produção de biogás (COLDEBELLA *et al.*, 2006). No quadro 3, na sequência, podemos visualizar a composição média do biogás gerado a partir de dejetos suínos, demonstrando quais são os elementos presentes, e suas respectivas percentagens.

Quadro 3 – Composição geral do biogás gerado a partir de dejetos suínos.

Substância	Simbologia	Percentagem no biogás (%)
Metano	CH ₄	50 a 70
Dióxido de carbono	CO ₂	35 a 40
Hidrogênio	H ₂	1 a 3
Nitrogênio	N ₂	0,5 a 3
Gás Sulfídrico e outros	H ₂ S, NH ₃ , C _n H _{2n}	1 a 5
Oxigênio	O ₂	0,1 a 1
Monóxido de carbono	CO	0 a 0,1
Vapor d'água	H ₂ O	Variável

Fonte: Thomas e Delval (1987).

O biogás pode ser utilizado como combustível por possuir um alto poder energético, servindo como fonte para produção de energia elétrica, mecânica ou térmica (ROCHA, 2016). Além de ser utilizado como combustível, o reaproveitamento do biogás resulta no maior controle nas emissões do metano na atmosfera, pois sabe-se que este gás possui um potencial poluidor de até vinte vezes mais nocivo que o gás carbônico (CO₂) (REIS, 2012).

O poder calorífico do biogás, varia de acordo com a percentagem do gás metano existente na mistura. Em média está entre 5.000 Kcal/m³ e 7.000 Kcal/m³, mas pode chegar a 12.000 Kcal/m³, se o total de gás carbônico (CO₂) for retirado da mistura, restando apenas o gás metano (CH₄) (OLIVEIRA, 2009). No quadro 4, é possível visualizar a equivalência do biogás em comparação aos combustíveis mais

comumente encontrados, em outras palavras, o quadro demonstra a quantidade do respectivo combustível que seria utilizado para produzir o mesmo que um metro cúbico de biogás.

Quadro 4 – Equivalência do biogás com relação aos combustíveis usuais.

Combustível	Equivalência em relação a 1m³ de biogás
Gasolina	0,61 litros
Querosene	0,57 litros
Óleo diesel	0,55 litros
GLP (Gás liquefeito de petróleo)	0,45 Kg
Álcool	0,79 litros
Lenha	1,538 Kg
Energia elétrica	1,428 KWh

Fonte: Autor (2017).

A obtenção do biogás pode ser gerada a partir de quaisquer materiais orgânicos, desde que em um ambiente adequado. Porém sabe-se que a produção de biogás varia de acordo com cada tipo de dejetos (COLDEBELLA *et al.*, 2006). No quadro 5, vemos a média de produção de biogás para dejetos suínos.

Quadro 5 – Produção de biogás a partir de dejetos suínos.

Espécie pecuária	Unidade referência	Produção específica de biogás (m³/Kg SV)	Produção diária (m³/animal/dia)
Suínos	Porca reprodutora em ciclo fechado	0,45	0,866
	Porca reprodutora em criação de leitões	0,45	0,933
	Porco em exploração de engorda	0,45	0,799

Fonte: Santos (2000).

Uma das principais vantagens do biogás em relação aos combustíveis convencionais derivados de petróleo, ou até mesmo do gás natural, está vinculado ao fato de ser originado por fontes renováveis de energia, já que é gerado a partir de dejetos orgânicos. O biogás pode ser utilizado pela queima direta, o que viabiliza a substituição do gás de cozinha pelo biogás, em fogões e outros equipamentos (ROCHA, 2016).

2.8 BIOFERTILIZANTES

Biofertilizantes significa um adubo orgânico líquido, o qual é gerado a partir de um processo de fermentação. A palavra “bio” vem do vocabulário grego e significa “vida”, portanto, biofertilizante remete a um adubo orgânico que foi gerado por micro-organismo anaeróbicos ou aeróbicos (PFVFSG, 2012).

De acordo com Ricci e Neves (2004), os adubos em forma de biofertilizantes, são resíduos de biodigestores, que são gerados a partir da digestão anaeróbica de quaisquer resíduos orgânicos. O processo de biodigestão fornece aos resíduos, além de nutrientes, substâncias que agem como defensivos naturais para as plantas. Vale ressaltar que este tipo de biofertilizantes, em geral, não possuem mau cheiro.

Como consequência da perda do carbono (C), o subproduto da biodigestão anaeróbica são compostos por altos teores de nutrientes, como: nitrogênio (N), fosfato de potássio (KH_2PO_4) e outros. Além do mais, possuem uma maior eficiência, já que estão em estado de decomposição avançados (ARRUDA *et al.*, 2002).

Segundo Matos (2016), ao comparar o rendimento na adubação na produção de inhame, em plantas adubadas diretamente com esterco bovino e com biofertilizante do mesmo esterco, notou-se um ganho de 10% com a utilização de biofertilizante aplicado diretamente na terra de plantio, e de 15,4%, quando aplicado na terra e na folha da planta.

2.9 GLICERINA LÍQUIDA BIDEUTILADA

Originalmente definida como glicerol ou propano-1,2,3-trio, foi denominada glicerina para termos comerciais. A glicerina líquida bideutilada trata-se de um subproduto que é obtido através da hidrólise dos óleo e gorduras de origem animal ou vegetal, também é possível produzir glicerina de maneira sintética a partir do propileno obtido do petróleo ou pela fermentação do açúcar. Ainda pode ser encontrada em todas as células animais e vegetais (FARMACAM, 2009).

É usualmente muito utilizada na fabricação de produtos farmacêuticos, produtos de limpeza, pomadas, xaropes, cremes dentais, solventes, agregador de consistência, e etc. (PHARMANOSTRA, 2014).

A fórmula química da glicerina é $C_3H_8O_3$, peso molecular de 92,09 Mol, e fórmula estrutural $CH_2OHCHOHCH_2OH$. Recomenda-se uma concentração entre 2% e 10%. As principais funções da glicerina são: solvente, umectante, plastificante e emoliente (MAPRIC, 2007).

2.10 SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR PARA ÁGUA QUENTE

De acordo com a NBR 15569 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008), um sistema de aquecimento solar, é composto por um coletor solar, um reservatório térmico, acessórios e demais itens hidráulicos, e pode funcionar por circulação natural ou forçada.

2.10.1 Coletor solar

O coletor solar é definido como um equipamento responsável por absorver a radiação solar em forma de calor, e transferi-lo para água que circula no interior do coletor. Existem diferentes modelos de coletores solares, os principais encontrados no mercado são: fechados planos, abertos planos e tubos de vácuo. A determinação na utilização de cada modelo varia de acordo com a temperatura e aplicação da água aquecida. Os coletores do modelo fechado são mais utilizados para fins sanitários, já os modelos abertos são geralmente utilizados para aquecimento de piscinas, e os de tubos de vácuo, embora pouco encontrado no Brasil, são os mais eficientes quando instalados em locais com temperatura elevada, são usados em grande parte na indústria (ANDRADE *et al.*, 2009).

O modelo de coletor fechado plano, é atualmente um dos mais utilizados mundialmente, isso devido a sua capacidade de absorção e troca de calor com o fluido, que pode atingir temperaturas acima de 80°C. O método de fabricação é relativamente simples, sendo composto por uma caixa externa para isolamento, flauta que são os tubos por onde o líquido é transportado, placa absorvedora, e pôr fim, a cobertura, que pode ser uma placa de vidro para servir como vedação do coletor (ANDRADE *et al.*, 2009).

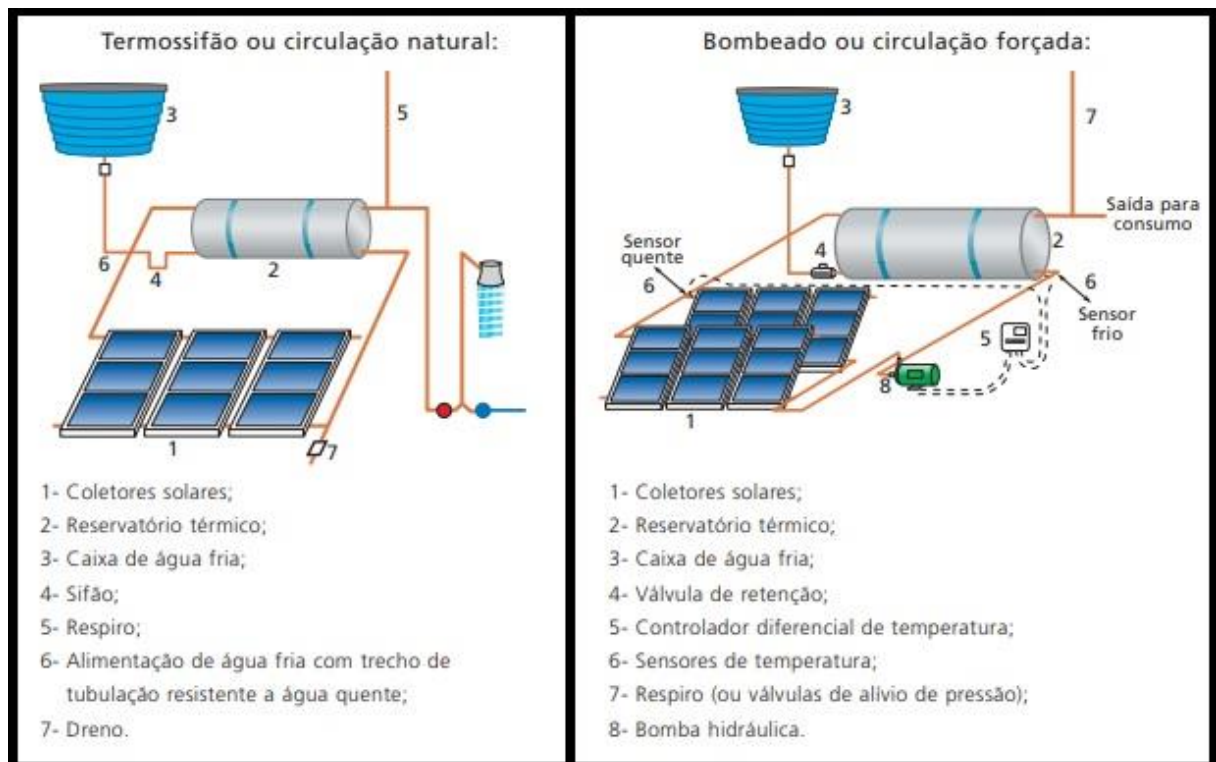
2.10.2 Reservatório térmico

O reservatório térmico, nada mais é do que uma caixa d'água isolada, que serve para armazenar e manter a água aquecida. A principal função do reservatório é manter a água aquecida para utilização em horários que o sistema não dispõe de luz solar. Os modelos comerciais são constituídos por corpo externo, isolamento térmico, corpo interno e tubulações, e podem incluir um sistema de aquecimento auxiliar, quando necessário (SINIGAGLIA, 2014).

2.10.3 Princípio de funcionamento e circulação de água

Existem duas formas de circulação de água em sistemas de aquecimento solar, que são: termossifão ou circulação natural, e por bombeamento ou circulação forçada (ANDRADE *et al.*, 2009). Os quais podemos verificar através da figura 7, disposta em sequência.

Figura 7 – Sistemas de circulação de água quente.



Fonte: Andrade *et al.* (2009).

No sistema de termossifão, a água circula do coletor ao reservatório apenas pela variação de pressão gerada pela diferença de temperatura. Esse sistema é possível devido a concepção em ângulo do coletor, que faz com que a água fria que é mais densa, entre no coletor pela parte inferior, que está em um nível abaixo da tubulação de saída, na parte superior do equipamento. Na medida em que a água é aquecida, sua densidade aumenta fazendo com que exista uma diferença de peso no interior do coletor, transportando a água aquecida para o reservatório. É um sistema autorregulado, a velocidade de circulação da água varia de acordo com os níveis de radiação solar (ANDRADE *et al.*, 2009).

Já o sistema por bombeamento ou circulação forçada, como o próprio nome já sugere, a circulação de água do coletor para o reservatório é feita através de uma bomba hidráulica, que pode ser acionada e controlada automaticamente por sensores, ou até mesmo de forma manual (SINIGAGLIA, 2014).

3 METODOLOGIA

O termo metodologia abrange o estudo da organização, ou a verificação dos caminhos a serem seguidos para conclusão de uma pesquisa. A metodologia refere-se à confirmação do caminho adotado para validar a conclusão da pesquisa. Posto isso, a metodologia não se trata apenas da descrição dos métodos e técnicas utilizadas na pesquisa, mas sim, leva em conta todo o referencial teórico abordado pelo pesquisador para se atender os objetivos do trabalho (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

3.1 TIPO DE ESTUDO E LOCAL DA PESQUISA

O trabalho pretende determinar meios de acelerar o processo químico de biodigestão que acontece no interior de um biodigestor anaeróbico alimentado com dejetos suínos.

O estudo foi realizado em quatro fases distintas, a primeira sendo o desenvolvimento da fundamentação teórica, servindo como base para que se possa analisar e determinar variáveis necessárias para realização dos experimentos nas etapas subsequentes.

Na segunda fase, foi realizado a fabricação de dois protótipos de biodigestor com sistema de alimentação descontínuo com menores proporções e volume de 0,24 m³, tornado possível a realização da prática, através de um ambiente controlado, visando a redução de possíveis interferências.

Na terceira fase, deu-se a realização dos procedimentos práticos do estudo, sendo primeiramente determinado a taxa de produção de biogás do protótipo, e em sequência, realizados os experimentos com os métodos sugeridos para aceleração do processo de biodigestão. Com isso, determinou-se a taxa de produção de biogás em cada um dos testes.

E por fim, na quarta fase, foram compilados os dados e comparados entre si, apresentando as porcentagens de redução ou aumento na taxa de produção de biogás, tornando-se possível a determinação ou não, da existência de um acelerador de biodigestão, e qual método foi mais vantajoso.

Os procedimentos práticos foram realizados em uma propriedade rural localizada no município de Pérola D'Oeste, Paraná. A propriedade conta com uma granja de criação de suínos.

3.2 PROCEDIMENTOS PARA COLETA DA MATÉRIA ORGÂNICA

Os métodos utilizados para a coleta da matéria orgânica buscaram minimizar a contaminação da mesma, sendo feita de forma individual no período de uma semana. Vale ressaltar que os animais eram criados em confinamento, em ambientes de alvenaria, e recebiam alimentação controlada, sendo utilizado apenas ração, o que favorecia a coleta, e auxiliava na uniformidade dos dejetos.

Os ambientes passavam por higienização anteriormente as datas de coleta, e o volume necessário para realização dos experimentos era coletado no decorrer de sete dias. Os dejetos eram recolhidos através de uma raspagem no piso do ambiente de confinamento, e não eram misturados aos demais dejetos, sendo armazenados em local fechado e reservado, de modo a manter a densidade e umidade padronizados, visando manter as mesmas características para ambas as etapas dos experimentos.

3.3 AVALIAÇÃO DE POSSÍVEIS ACELERADORES DE DECOMPOSIÇÃO

Sabendo-se que o processo de biodigestão varia de acordo com a temperatura do substrato, sendo que, acima de 50°C temos o processo termofílica, que possui melhor rendimento, desenvolveu-se um sistema de água quente, que conta com uma serpentina de aquecimento introduzido no interior do protótipo, que troca calor com o substrato, fazendo com que a temperatura interna do biodigestor se mantenha elevada. Como o sistema desenvolvido utiliza a radiação solar para aquecer a água, verificou-se temperaturas variando de 30°C até 50°C no período do dia, e voltando a temperatura ambiente durante a noite.

Aliado ao sistema de aquecimento, determinou-se uma substância para ser incluído nas etapas de testes. Avaliando a fundamentação teórica, e levando em consideração fatores como: obtenção da substância, preço e risco a saúde, escolheu-se a glicerina líquida bidestilada, que comumente é utilizada como base para produtos

de limpeza e farmacêuticos. A glicerina também é utilizada como solvente, e é gerada a partir de gorduras animais e vegetais. Com isso, assumiu-se como uma substância que possivelmente poderia agilizar o processo químico de biodigestão, sendo incluída nos procedimentos para testes. No espaço destinado aos anexos, no fim do trabalho, é possível visualizar no anexo 1, mais detalhes do fornecimento da glicerina utilizada neste estudo, assim como valores e outros dados.

3.4 DESENVOLVIMENTO DO MODELO PARA TESTES

Para realização dos procedimentos práticos, foi desenvolvido dois protótipos de biodigestor com sistema de alimentação descontínuo, ambos possuindo o mesmo volume interno de 240 litros. Em um dos equipamentos foi incluído o sistema de aquecimento. Ao fim do trabalho, no anexo 2, é possível visualizar a lista de materiais utilizados na fabricação do coletor solar, serpentina de aquecimento e nos dois protótipos de biodigestor.

3.4.1 Protótipo de biodigestor simples

Basicamente o protótipo foi constituído por uma bombona de 240 litros, fabricado em polietileno, e com tampa rosqueável, que proporcionou a vedação do equipamento.

Na parte superior da tampa foi instalada uma mangueira, a qual serviu como escape do biogás formado no interior do equipamento. Não foi necessário o desenvolvimento de um gasômetro para armazenamento do biogás, o mesmo foi descartado através de um borbulhador. Na figura 8 disposta em sequência, a esquerda, podemos visualizar o protótipo já em operação, ao lado, o borbulhador.

Figura 8 – Protótipo de biodigestor.



Fonte: Autor (2018).

3.4.2 Desenvolvimento e fabricação do coletor solar

Para manter o sistema de biodigestão com temperatura elevada, primeiramente, precisávamos de uma fonte de calor, como não dispúnhamos de uma caldeira, por exemplo, optamos por utilizar a radiação solar como fonte de energia térmica.

Para escolha do modelo de coletor, foi levado em consideração fatores como: facilidade de fabricação, capacidade de absorção de calor, e rendimento do sistema, sendo assim, adotou-se o modelo fechado plano.

O coletor solar foi fabricado visando o melhor custo x benefício, não sendo utilizando materiais específicos como cobre e tubulação de metal. A caixa de

isolamento foi fabricada em madeira e pintada com cor escura, aumentando a emissividade do material e ajudando na retenção de calor. A flauta foi feita com tubos de pvc, com diâmetro de 20mm, e da mesma forma pintados de cor escura. Por fim a cobertura utilizada para isolamento do coletor solar, se deu através de uma placa de vidro. O passo a passo da fabricação pode ser conferido através da figura 9, disposta em sequência.

Figura 9 – Etapas de fabricação do coletor solar fechado plano.



Fonte: Autor (2018).

3.4.3 Serpentina de aquecimento

Como o coletor era responsável por absorver o calor solar e aquecer a água, tornou-se necessário projetar um sistema para transportar o calor captado até o substrato no interior do biodigestor.

Para isso foi desenvolvida uma serpentina de aquecimento, e instalada dentro do protótipo, de forma alheia ao processo de biodigestão. Na medida em que a água aquecida circulava através do coletor e da serpentina mantinha o substrato aquecido, e voltava ao reservatório dando continuidade ao ciclo

Para armazenamento da água utilizada no sistema, utilizou-se uma máquina de lavar desativada, por possuir um corpo externo e um corpo interno onde ficava o líquido, proporcionando um isolamento do meio interno com o meio externo.

A serpentina de aquecimento foi fabricada com uma mangueira de pvc flexível, com aproximadamente 20m de comprimento e diâmetro de 3/8". A água quente entrava pela parte inferior do biodigestor e saía na parte superior, voltando para o reservatório térmico. O método de montagem e fabricação pode ser entendido de melhor forma visualizando a figura 10, a qual demonstra o processo e o protótipo concluído.

Figura 10 – Fabricação e instalação da serpentina de aquecimento.



Fonte: Autor (2018).

A circulação de água no sistema, deu-se de forma forçada, com a ajuda de uma bomba hidráulica.

Vale ressaltar que o objetivo do estudo não é dimensionar um sistema de aquecimento, não sendo necessário o desenvolvimento dos cálculos de troca térmica.

3.4.4 Protótipo de biodigestor aquecido com serpentina de aquecimento

Da mesma forma do protótipo sem aquecimento, este modelo também foi desenvolvido com uma bombona de 240 litros, fabricada em polietileno, com tampa rosqueável. Para captação e descarte do biogás, foi utilizado o mesmo sistema usado anteriormente, com uma mangueira transparente fixada no topo da tampa e imersa em água no borbulhador, evitando o refluxo de ar para o interior do equipamento.

A diferença deste modelo com sistema de aquecimento em relação ao primeiro, está justamente no sistema de serpentina de aquecimento, que foi instalado no interior do biodigestor, o qual era responsável por manter o substrato aquecido através da água quente que circulava na tubulação interna. Os procedimentos de fabricação e montagem da serpentina e do coletor de radiação solar, foram abordados anteriormente.

Na figura 11, a esquerda, podemos visualizar os elementos do sistema, como a placa coletora, o protótipo do biodigestor com a entrada da serpentina de aquecimento próximo a base do equipamento, e o reservatório de água. Ao lado está o sistema totalmente integrado e em operação, com a bomba hidráulica instalada embaixo do reservatório, fazendo com que a água circule pela placa coletora e posteriormente na serpentina de aquecimento. Percebe-se também o borbulhador posicionado acima do biodigestor, com a mangueira de captação do biogás na posição.

Figura 11 – Protótipo de biodigestor aquecido com sistema de aquecimento.



Fonte: Autor (2018).

3.5 PROPORÇÃO DA MISTURA (DEJETOS X ÁGUA)

Recomenda-se que o processo de fermentação anaeróbica de dejetos suínos obedeça a proporção de 1:2, ou seja, uma parte de dejetos para duas partes de água. Como os protótipos desenvolvidos têm capacidade de 240 litros, a proporção de dejetos versus água foi de 80 litros de dejetos suínos e 160 litros de água, isso nos experimentos que utilizaram apenas água na mistura. Já os testes executados com a mistura da substância proposta, adotou-se os mesmos 80 litros de dejetos suínos, misturados a 20 litros de glicerina líquida bidestilada acrescida de 140 litros de água, seguindo o padrão de 1:2 com uma parte de dejetos para duas de líquido.

3.6 PARÂMETROS OPERACIONAIS

O modo de operação se constituiu no preparo do substrato para cada experimento, e na inserção do mesmo no protótipo para testes. Uma vez confinado, o substrato não sofreu influência externa, sendo aberto somente após o tempo recomendado.

3.6.1 Tempo de confinamento

O tempo de retenção hidráulica varia de acordo com cada autor, porém sabe-se que quanto maior for o tempo de confinamento, maior será o período de ação das bactérias, e conseqüentemente maior a produção de biogás. Em geral, o tempo recomendado varia de 4 a 60 dias de confinamento, este número é determinado em função do tipo de equipamento, volume do reator, tipo de matéria orgânica, e até mesmo pelo sistema de alimentação.

Como o protótipo utilizado possui volume relativamente pequeno em comparação aos equipamentos convencionais, e o sistema de alimentação é descontínuo, ou seja, o que favorece a estabilização das bactérias, assumiu-se um tempo de confinamento de 22 dias.

Como o objetivo do estudo é determinar um meio de acelerar o processo de biodigestão, optou-se por não adotar o tempo de confinamento máximo, pois considerando um período de 60 dias, a capacidade de formação de biogás do equipamento atingiria sua totalidade em todas as etapas dos testes, resultando na formação do mesmo volume de biogás, impossibilitando a variação na taxa de produção de biogás.

3.7 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

Levando em consideração as proporções recomendadas de água versus dejetos, as amostras foram divididas em quatro etapas:

3.7.1 Etapa 1

Na primeira etapa foi inserido no biodigestor de 240 litros 160 litros de água em temperatura ambiente, misturada a 80 litros de dejetos suínos. A variação do peso inicial e final do substrato determinou a taxa de produção de biogás para esta mistura, que foi considerada como a taxa normal para o equipamento, e utilizada como parâmetro base para verificação na variação da produção de biogás nas demais etapas.

3.7.2 Etapa 2

Nesta etapa, foi inserido no protótipo de 240 litros, os mesmos 160 litros de água, da mesma forma misturados a 80 litros de dejetos suínos. Porém com o diferencial do sistema de serpentina de aquecimento introduzido no interior do biodigestor, fazendo com que o substrato permanecesse a uma temperatura elevada, variando de 30°C até 50°C no período do dia.

3.7.3 Etapa 3

Na terceira etapa, inserido no protótipo 140 litros de água a temperatura ambiente, misturada a 80 litros de dejetos suínos, acrescido de 20 litros de glicerina líquida bidestilada, o que representa 12,5% da parte líquida.

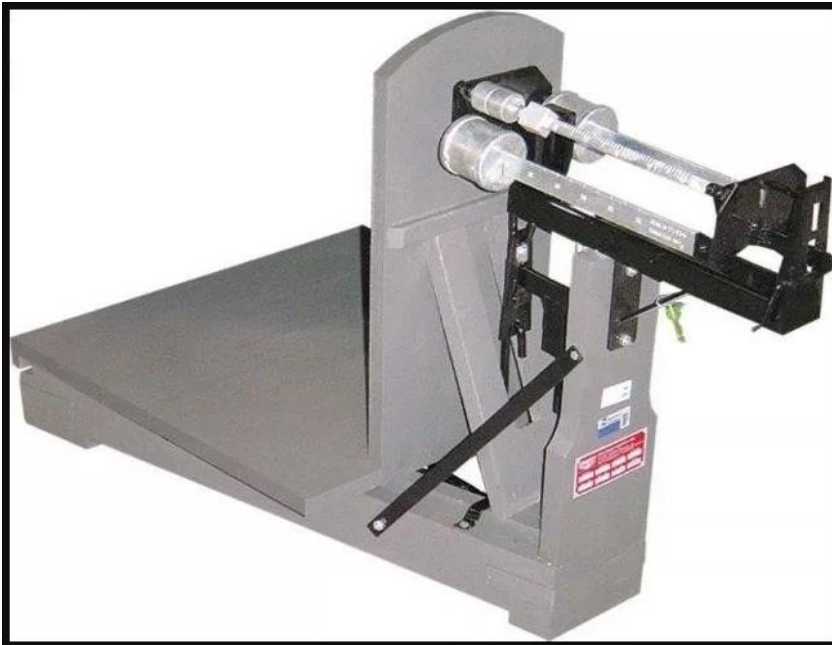
3.7.4 Etapa 4

Por fim, na quarta etapa, similar ao experimento da etapa dois, que conta com o sistema de aquecimento o qual mantém a temperatura do substrato aquecida entre 30°C e 50°C no período do dia, foi inserido no biodigestor 140 litros de água, 80 litros de dejetos suínos e 20 litros de glicerina líquida bidestilada, da mesma forma representando 12,5% da parte líquida.

3.8 INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE DADOS

Para coleta dos dados utilizou-se uma balança agrícola de madeira, com capacidade de 300kg, devidamente aferida, e com selo de calibração do INMETRO. Não foi possível anexar o certificado de calibração da balança, porém no anexo 3 ao fim do trabalho é possível visualizar o selo de calibração da mesma. A figura 12 a seguir, ilustra o modelo de balança utilizada.

Figura 12 – Balança agrícola de madeira com capacidade para 300kg.



Fonte: Balanças Rinnert (2018).

A coleta dos dados ocorreu de maneira individual em cada um dos experimentos, sendo aferido o peso inicial do substrato, e ao término de cada etapa o peso final. A pesagem levou em conta o peso total do substrato mais o do protótipo, porém assumiu-se o peso apenas do substrato, sendo devidamente descontado o peso do equipamento. A figura 13 demonstra um procedimento de pesagem, realizado ao término de uma das etapas da pesquisa.

Figura 13 – Procedimento de pesagem.



Fonte: Autor (2018).

Para aquisição dos dados, desenvolveu-se o quadro 6, disposto em sequência. No quadro, pôde-se tabular os dados em cada um dos procedimentos, discriminando a data inicial e final de cada etapa, assim como o peso do protótipo utilizado, e o peso do substrato, que foi considerado o principal parâmetro para realização do cálculo de porcentagem de produção de biogás.

Quadro 6 – Quadro para coleta de dados.

Modelo do protótipo	Peso do protótipo	Etapa	Data inicial	Peso inicial do substrato	Data final	Peso final do substrato	Percentual de produção de biogás
Simple	6,5 Kg	Etapa 1					
Aquecido	10,0 Kg	Etapa 2					
Simple	6,5 Kg	Etapa 3					
Aquecido	10,0 Kg	Etapa 4					

Fonte: Autor (2018).

3.9 ANÁLISE DOS DADOS

Com o quadro 6 devidamente preenchido, determinou-se o percentual de produção de biogás, que foi definido através de um cálculo de regra de três simples. Onde o peso inicial do substrato inserido no protótipo, foi considerado como sendo 100% da capacidade de produção de equipamento. Após o término do tempo de confinamento previsto, que em ambos os casos foi de 22 dias, verificou-se a variação do peso final do substrato, e aplicando no cálculo obteve-se o percentual de produção de biogás em cada uma das etapas. A partir dos resultados, realizou-se um gráfico de barras para auxiliar na visualização e na comparação dos resultados.

Com o percentual de produção de biogás de cada etapa definido, pôde-se correlacionar os dados e determinar o percentual de variação existente entre os experimentos. Para isso, fez-se necessário a confecção do quadro 7, disposto em sequência.

Quadro 7 – Quadro para verificar o percentual de aumento entre as etapas.

TIPO DO SUBSTRATO	MODELO DO PROTÓTIPO	ETAPA	PERCENTUAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS	PERCENTUAL DE AUMENTO NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS COM RELAÇÃO A ETAPA 1
Água + Dejetos	Simples	Etapa 1		Parâmetro base
	Aquecido	Etapa 2		
Água + Dejetos + Glicerina líquida	Simples	Etapa 3		
	Aquecido	Etapa 4		

Fonte: Autor (2018).

Para definir qual das etapas obteve o melhor rendimento, assumiu-se a etapa 1 como sendo a capacidade de produção normal do protótipo, e utilizado como parâmetro base para determinar qual dos experimentos obteve o melhor rendimento. O cálculo leva em consideração o percentual de produção de biogás em cada uma das etapas, e da mesma forma, utiliza uma regra de três simples para determinar o percentual de aumento na formação de biogás.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para atestar os resultados que serão apresentados a seguir, as fases descritas na metodologia respeitaram a ordem cronológica definida nos objetivos específicos do estudo. Primeiramente analisou-se a literatura específica com o propósito de determinar os melhores métodos para agilizar o processo químico de biodigestão. Em seguida, com os métodos previamente selecionados, foi desenvolvido os protótipos para testes, sendo fabricado dois biodigestores com mesmo volume e menores proporções que possibilitou a realização das etapas previstas. Por fim, com os resultados obtidos, pôde-se verificar se algum dos métodos escolhidos foi capaz de acelerar a biodigestão dos dejetos suínos inseridos em um biodigestor anaeróbico.

Com o intuito de facilitar a visualização e análise dos resultados, compilou-se os dados no quadro 6 resultando no quadro 8, apresentado a seguir.

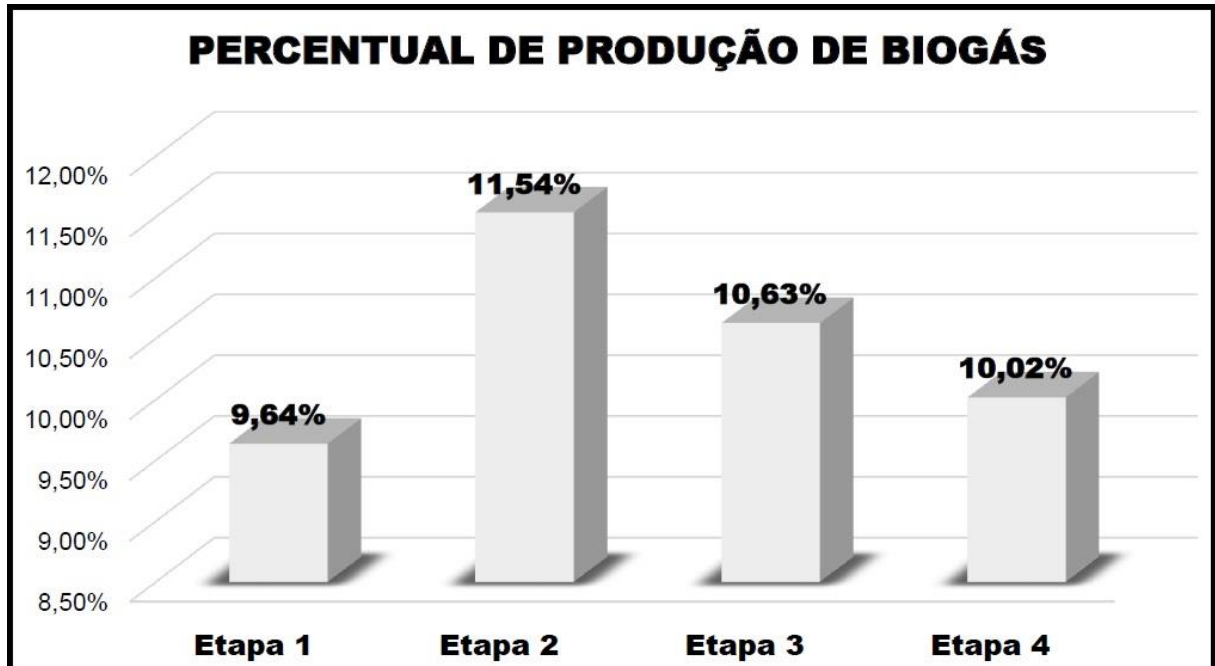
Quadro 8 – Resultado da coleta de dados.

TIPO DO SUBSTRATO	MODELO DO PROTÓTIPO	PESO DO PROTÓTIPO	ETAPA	DATA INICIAL	PESO INICIAL DO SUBSTRATO	DATA FINAL	PESO FINAL DO SUBSTRATO	PERCENTUAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS
Água + Dejetos	Simples	6,5 Kg	Etapa 1	16/02/18	234,2 Kg	10/03/18	211,06 kg	9,64%
	Aquecido	10,0 Kg	Etapa 2	16/02/18	229,8 Kg	10/03/18	203,3 Kg	11,54%
Água + Dejetos + Glicerina líquida	Simples	6,5 Kg	Etapa 3	31/03/18	233,3 Kg	22/04/18	208,5 Kg	10,63%
	Aquecido	10,0 Kg	Etapa 4	31/03/18	242,3 Kg	22/04/18	218,0 Kg	10,02%

Fonte: Autor (2018).

O quadro 8 apresenta todas as variáveis tratadas no estudo, demonstrado todos os aspectos utilizados para a determinação dos resultados. Entretanto a coluna mais importante do quadro descreve o percentual de produção de biogás, definido como sendo a taxa de formação de biogás em cada uma das etapas. A partir destes resultados foi desenvolvido o gráfico 4, que representa este percentual em cada um dos testes.

Gráfico 4 - Percentual de produção de biogás.



Fonte: Autor (2018).

Vale ressaltar que o percentual de produção de biogás, refere-se à variação do peso inicial com o peso final, ou seja, é essa variação apresentada que resulta nos dados obtidos. Por exemplo, na etapa 1, do peso total de substrato inserido no protótipo, 9,64% se transformou em biogás.

Lembrando que a etapa 1 foi considerada como parâmetro base, sendo assim, os resultados desta etapa foram considerados normais para os protótipos, desse modo, levando em consideração o tempo de confinamento de 22 dias, assumiu-se que 9,64% é a capacidade normal de produção de biogás dos modelos de biodigestores utilizados nos testes.

Com os resultados apresentados no gráfico 4, já é possível determinar qual das etapas obteve o melhor resultado. Percebe-se que a etapa 2 atingiu o melhor rendimento, e logo abaixo seguido pela etapa 3, e pela etapa 4, este último mesmo tendo resultado no pior caso entre os testes, ainda assim apresentou um rendimento superior à taxa normal de produção de biogás.

Para demonstrar o percentual de variação entre os casos, estabeleceu-se uma correlação entre os dados, novamente tomando como parâmetro base a etapa 1, verificou-se o percentual de aumento na produção de biogás. Inserindo os dados apresentados no quadro 7, desenvolveu-se o quadro 9, disposto em sequência.

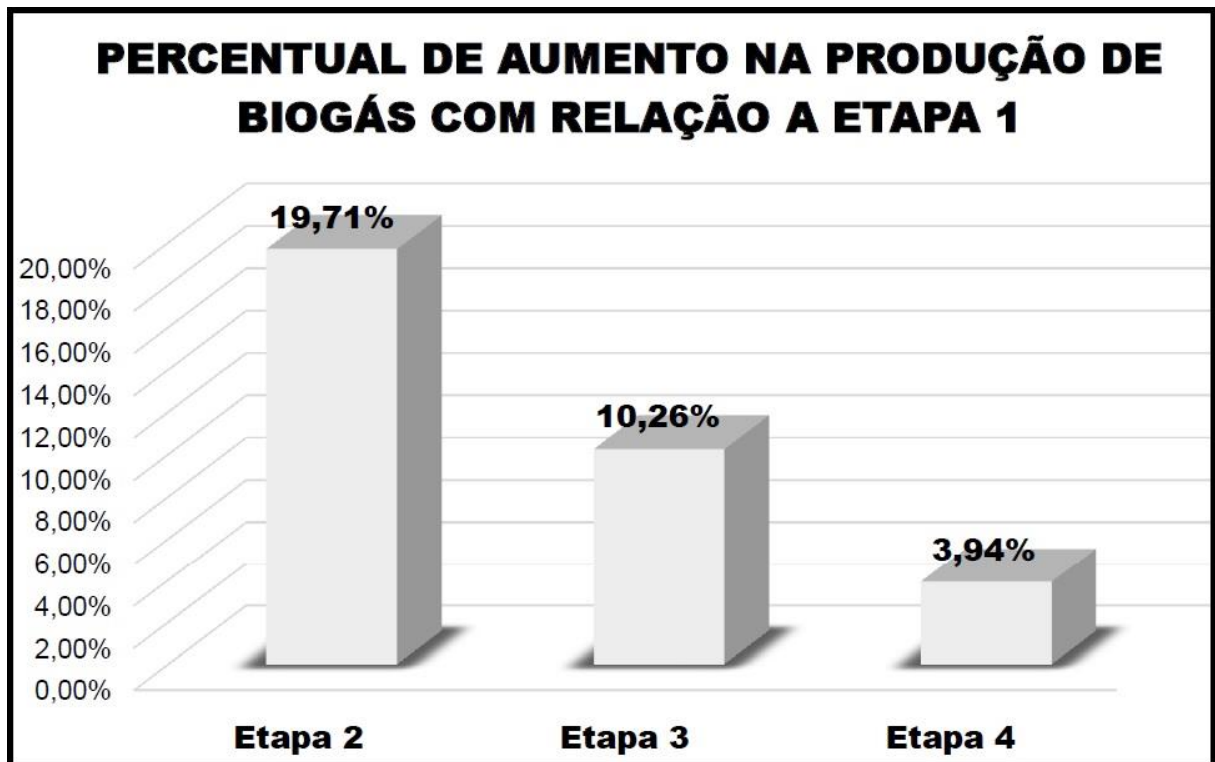
Quadro 9 – Percentual de aumento na produção de biogás com relação a etapa 1.

TIPO DO SUBSTRATO	MODELO DO PROTÓTIPO	ETAPA	PERCENTUAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS	PERCENTUAL DE AUMENTO NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS COM RELAÇÃO A ETAPA 1
Água + Dejetos	Simple	Etapa 1	9,64%	Parâmetro base
	Aquecido	Etapa 2	11,54%	19,71%
Água + Dejetos + Glicerina líquida	Simple	Etapa 3	10,63%	10,26%
	Aquecido	Etapa 4	10,02%	3,94%

Fonte: Autor (2018).

Ao relacionar os dados no quadro 9, sempre tomando como parâmetro base a etapa 1, determinou-se a variação do percentual de formação de biogás nas etapas 2, 3 e 4, e com os resultados, desenvolveu-se o gráfico 5 em sequência, que representa o percentual de aumento na formação de biogás.

Gráfico 5 – Percentual de aumento na produção de biogás.



Fonte: Autor (2018).

Os resultados apresentados no gráfico 5, mostram que em ambos os testes a capacidade de formação de biogás obteve melhorias, sendo que o melhor caso, foi a etapa 2, apresentando um aumento de 19,71%, seguido da etapa 3, e etapa 4, com 10,26% e 3,94%, respectivamente.

Em nenhum dos experimentos executados, a capacidade de geração de biogás ficou abaixo da taxa normal determinada para o equipamento. Sendo assim, todos os métodos utilizados foram considerados como válidos, podendo ser utilizados como meios de acelerar o processo químico de biodigestão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou a realização da análise da implementação de um catalisador para aceleração do processo de biodigestão em biodigestores alimentados com dejetos suínos, com o propósito de melhorar o rendimento do sistema e aumentar a produção de biogás, sem alterar as características construtivas dos equipamentos. Para isso, foi abordado e analisado diversos autores com inúmeros temas relacionados a tecnologia de biodigestão, e a partir deste referencial teórico, propôs-se os métodos aplicados e obteve-se os dados apresentados.

A pesquisa foi dividida em três fases, sendo elas: coleta, análise e desenvolvimento da fundamentação teórica e metodologia adequada; projeto e fabricação dos protótipos; e pôr fim, a realização das quatro etapas de testes e análise dos dados.

Ao definir os objetivos da pesquisa, o foco do estudo foi direcionado, ou seja, determinou-se um caminho a ser percorrido para atingir as metas. Com isso, atendeu-se todos os objetivos específicos, tendo em vista que o referencial teórico atesta o desenvolvimento dos protótipos utilizados, bem como os métodos empregados, e conseqüentemente valida os resultados apresentados como meios de acelerar o processo químico de biodigestão.

Como a pesquisa foi desenvolvida utilizando o método comparativo, fez-se necessário a determinação de um parâmetro base, ou seja, um resultado apresentado como padrão. Transmitindo este conceito para o estudo em questão, assumiu-se os dados da etapa 1 como sendo a capacidade de produção de biogás normal para os protótipos de 240 litros utilizados nos testes. Portanto, em condições normais, ao término de 22 dias de confinamento, 9,64% da carga total de substrato inserido nos protótipos seriam transformados em biogás.

Depois de definidos os parâmetros, analisou-se a variação entre as etapas 2, 3 e 4, para então definir a existência de um meio de acelerar o processo químico de biodigestão.

Na etapa 2 dos testes, utilizou-se a proporção padrão de dejetos e água, respeitando uma parte de dejetos para duas partes de água, a diferença em relação a etapa 1, foi a existência da serpentina de aquecimento, que manteve o substrato com uma temperatura elevada durante o dia, e temperatura ambiente durante a noite.

Os dados apresentados como resultados desta etapa, mostram que o percentual de produção de biogás atingiu 11,54%, ou seja, o método empregado na etapa 2 resultou em uma variação de 19,71% a mais na capacidade de geração de biogás, para o mesmo tempo de confinamento da etapa 1.

Nas etapas 3 e 4, além de água, incluiu-se a substância proposta no substrato. Sendo assim, para a preparação da etapa 3, substituiu-se 20 litros de água por 20 litros de glicerina líquida bidestilada, mantendo a proporção de dejetos por líquido de 1:2. Obteve-se como resultado desta etapa que a produção de biogás atingiu 10,63% do percentual total, representando um aumento de 10,26% com relação a etapa 1.

Na etapa 4, da mesma forma que a etapa 2 foi utilizado o protótipo de biodigestor aquecido, com a diferença da inclusão da glicerina líquida bidestilada. Seguindo a proporção indicada na etapa 3, substituiu-se 20 litros de água por 20 litros de glicerina. A etapa 4 apresentou o percentual de produção de biogás de 10,02%, resultando em 3,94% a mais que a etapa 1.

Deste modo, todas as etapas atenderam a caracterização do problema, tendo ambos os métodos, melhorado o rendimento do sistema e aumentado a produção de biogás. Porém o melhor caso foi o experimento da etapa 2, que apresentou um percentual de 19,71% a mais que o parâmetro base.

Portanto, assumimos que todos os meios utilizados são válidos para acelerar o processo químico de biodigestão. Porém os experimentos da etapa 3 e 4, são inviáveis financeiramente, na medida em que a glicerina líquida bidestilada gera um custo, e além do mais é um meio que necessita de renovação a cada realimentação do equipamento. Isso sem contar que o aumento na capacidade de geração de biogás foi inferior ao do experimento 2, que necessita de um único investimento para entrar em operação, por ser um elemento externo ao substrato, não sendo necessários novos investimentos a cada realimentação do biodigestor.

Posto isso, a etapa 2 foi considerado como o melhor catalisador para acelerar o processo químico de geração de biogás em biodigestores anaeróbicos alimentados com dejetos suínos.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, sugere-se:

- Análise da viabilidade de implantação de serpentina de aquecimento em biodigestores com sistemas de alimentação contínuos.

- Utilizar gases de combustão como meio de aquecimento em sistemas similares, a fim de manter a temperatura do substrato padronizada e uniforme.

- Realização dos mesmos procedimentos utilizados, porém aferindo a massa dos produtos, ao invés de aferir o volume, com o intuito de validar os resultados obtidos.

- Analisar a possibilidade de incluir um sistema de aquecimento elétrico, ou através de uma caldeira, a fim de estipular a temperatura de funcionamento do biodigestor, e manter a temperatura interna dentro de parâmetros preestabelecidos, e novamente executar os experimentos, determinado qual temperatura de operação fornece os melhores rendimentos.

- Realizar os mesmos procedimentos propostos neste estudo, com a substituição da substância proposta.

- Alterar parâmetros como tempo de confinamento e volume do reator, a fim de confirmar os resultados apresentados.

- Análise da viabilidade de implantação de um sistema de biodigestores similares aos protótipos desenvolvidos em pequenas propriedades, com o intuito de gerar biogás em forma de gás combustível.

- Verificar quais parâmetros químicos resultaram na redução da produção de biogás no reator aquecido em relação ao sem aquecimento, utilizando glicerina líquida bidestilada no substrato.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABPA. **Estatística** | Desempenho na produção. 2017. Disponível em: <www.abpa-br.com.br/busca/1/suinos/estatistica/desempenho-na-producao> Acesso em: 26 set. 2017.
- AGROSTAT. **Indicadores Gerais Agrostat**. 2017. Disponível em: <www.indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.html> Acesso em: 28 set. 2017.
- ALVES, R. G. C. M. **Tratamento e valorização de dejetos da suinocultura através de processos anaeróbios**: Operação e avaliação de diversos reatores em escala real. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- AMARAL, A. L. *et al.* Boas práticas de produção de suínos. **Circular técnica**. Concórdia, n. 50, p.1-60, dez. 2006.
- ANDRADE, A. S. *et al.* **Qualidade em instalações de aquecimento solar**. São Paulo: Victory. 2009.
- ARRUDA, M. H. *et al.* Dimensionamento de biodigestores para geração de energia alternativa. **Revista científica eletrônica de agronomia**. [S.l.]: n.2, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15569**: Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto. Rio de Janeiro. 2008.
- BALMANT, W. **Concepção, construção e operação de um biodigestor e modelagem matemática da biodigestão anaeróbica**. Dissertação de Mestrado, Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2009.
- BENINCASA, M. **Biodigestores convencionais**. [S.l.]: Unesp, 1986.
- BERTONCINI, E. I. Dejetos da suinocultura desafios para o uso agrícola. **Pesquisa e Tecnologia**, São Paulo, vol.8, n.2, dez. 2011.
- BUCI, J. R. **Humphry Davy e a questão da classificação do potássio e do sódio**. Dissertação de Mestrado, São Paulo: Universidade de São Paulo, 2012.
- CARVALHO, C. M. *et al.* Bem estar na suinocultura. **Nutritime**. Uberlândia, n. 11, p.2272-2286, mar. 2013.
- CARVALHO, L. O que é o biodigestor?. **O Hectare**. 09 out. 2009. ECOCENTRO IPEC: Você sabia?, n. 3, p.1-3.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios**: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 2.ed. v.5. Belo Horizonte: UFMG, 1997.
- COELHO, T. Principais gases que provocam o efeito estufa. **Jornal de Notícias**. 02 dez. 2009. VISAPRESS. Disponível em <<https://www.jn.pt/infografias/interior/os-gases-mais-nocivos-para-o-ambiente-1436561.html?id=1436561>> Acesso em: 04 out. 2017.

COLDEBELLA, A.; *et al.* **Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bovinocultura de leite.** Tese de Mestrado, Cascavel: Universidade do Oeste do Paraná, 2006.

DEGANUTTI, R. *et al.* **Biodigestores rurais modelo indiano, chinês e batelada.** 2002. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Biodigestores_000g76qdzev02wx5ok0wtedt3spdi71p.pdf> Acesso em: 28 set. 2017.

EMBRAPA. **Estatística | Brasil | Suínos.** 2017. Disponível em: <www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatistica/suinos/brasil> Acesso em: 26 set. 2017.

FARIA, C. **Digestão anaeróbica.** [S.l.]: Info Escola, 2017. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/ecologia/digestao-anaerobica/>> Acesso em: 25 out. 2017.

FARMACAM. **Glicerina bidestilada.** Farmácia com manipulação e homeopatia, 2009. Disponível em: <<http://www.farmacam.net.br/Literatura%20Alopatia%20FARMACAM/monografias%20FARMACAM/glicerinafarmacam.pdf>> Acesso em: 30 abr. 2018.

FERREIRA, J. **Produção de biogás e funcionamento de biodigestores no ensino de ciências.** Monografia de Especialização, Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor:** um estudo de caso na região de Toledo – PR. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, T. D. **Métodos de pesquisa.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GONÇALVES, G. L. F. **Biodigestores:** Uma alternativa para reduzir a contaminação das águas pelo esgoto. Trabalho de Conclusão de Curso, Araçuaí: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

MAPRIC. **Glicerina bidestilada.** Produtos farmacêuticos, 2007. Disponível em: <http://www.mapric.com.br/anexos/boletim456_05102007_143540.pdf> Acesso em: 30 abr. 2018.

MATTOS, L. C.; FARIAS, M. J. Projeto manejo sustentável de terras no sertão. **Manual do biodigestor sertanejo.** Recife, n. 1, p.48, out. 2011.

MATTOS, S. **Como elaborar objetivos de pesquisa.** [S.l.]: UNESAV, 2015. Disponível em: < <http://unesav.com.br/ckfinder/userfiles/files/Como%20elaborar%20Objetivos%20de%20Pesquisa.pdf>> Acesso em 26 abr. 2018.

MATOS, C. F. **Produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos de bovinos, sob sistema orgânico e convencional de produção.** Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Tecnologia: Centro de Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016.

METCALF, E.; EDDY, M. **Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse**. 3.ed. Nova York: McGraw-Hill, 1991.

METZ, H. L. **Construção de um biodigestor caseiro para demonstração de produção de biogás e biofertilizantes em escolas situadas em meios urbanos**. Monografia de Pós-Graduação, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão: A Alternativa Energética**. São Paulo: Nobel, 1986.

OLIVEIRA, F. A. **Manual de construção do biodigestor rural**. Trabalho de conclusão de curso, Belo Horizonte: PUC Minas Gerais, 2014.

OLIVEIRA, G. S.; SILVA, N. F.; HENRIQUES, R. **Mudanças climáticas: ensino fundamental e médio**. Brasília: MEC, SEB: MCT, AEB, vol.13, n.1, 2009.

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M.; NUNES, M. L. A. Emissão de gases na suinocultura que provocam efeito estufa. **Suinocultura industrial**, [S.l.], v.25, n.7, p.16-20, 2003.

OLIVEIRA, R. D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono**. Trabalho de conclusão de curso, São Carlos: Universidade de São Paulo, 2009.

PHARMANOSTRA. **Glicerina vegetal**. Insumos farmacêuticos, 2014. Disponível em: <[https://infinitypharma.com.br /uploads/insumos/pdf/g/Glicerina_2.pdf](https://infinitypharma.com.br/uploads/insumos/pdf/g/Glicerina_2.pdf)> Acesso em: 30 abr. 2018.

Programa de fortalecimento da vinicultura familiar da serra gaúcha. [S.l.]: n.1, 01 ago. 2012.

REIS, A. S. **Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio**. Dissertação de Mestrado, Caruaru: Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

RICCI, M. S. F.; NEVES, M. C. P. **Cultivo do café orgânico**. Seropédica: Empresa de Pesquisa Agropecuária, 2004.

ROCHA, C. M. **Proposta de implantação de um biodigestor anaeróbico de resíduos alimentares**. Trabalho de conclusão de curso, Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016.

SINIGAGLIA, T. **Dimensionamento de um aquecedor solar de baixo custo: reservatório térmico alternativo**. Trabalho de conclusão de curso, Horizontina: FAHOR – Faculdade Horizontina, 2014.

VANIN, J. A. Uma descoberta eletrizante. **Ciência Hoje**. São Paulo, n. 155, p.75-77, nov. 1999.

8 ANEXOS

ANEXO 1 – Cupom fiscal glicerina líquida bidestilada

W
i

□
Valentina Comercio de Produtos Quimicos
Rua Erechim, 137
(45) 3038-6716 - Cascavel - PR
Emissao.: 28/03/2018 15:00
n PEDIDO 27239n
Vdor.: 2 - Loja

1 - Diversos
Telefone.: () - Ficha.: D

VENDA DE MERCADORIAS

176. GLICERINA BIDEUTILADA 5LT
0000000001752 8,000 x 65,00 = 520,00

Valor a Vista (Entrada)= 520,00

Total dos Itens = 520,00
= Valor Total = 520,00
Valor do Troco = 0,00

Email, Casadaquimicacascavel@hotmail.com
Empresa Optante Pelo Simples Nacional

Ass: ANDREY G. GIONGO
Declaro ter recebido as mercadorias relacionadas acima.

ANEXO 2 – Orçamento de materiais utilizados

Item	Quantidade	Valor R\$
Bombona de 240 litros azul	2	200,00
Cano de PVC 20mm	25m	62,00
Conexão soldável "T" PVC 20mm	18	54,00
Curva soldável 90° PVC 20mm	6	12,00
Curva soldável 45° PVC 20mm	2	4,00
Conexão soldável PVC 20mm	2	4,00
Mangueira PVC Flexível 3/8"	20m	30,00
Luva soldável PVC 20mm	4	8,00
Conexão de compressão roscável 20mm	2	10,00
Adaptador soldável com flange 25mm	2	16,00
Conexão roscável de redução 25/20mm	4	8,00
Mangueira transparente 3/8"	2m	4,00
Adaptador para mangueira 3/8" com rosca 20mm	4	4,00
Tinta spray cor preto fosco	1	15,00
Bomba d'água de máquina de lavar	1	40,00
Bisnaga de silicone transparente	2	24,00
Cola para PVC	2	6,00
Lamina de vidro temperado 1,80x0,50m	1	100,00
Máquina de lavar desativada	1	30,00
Madeiras para estruturas	Diversas	150,00
Total		781,00 R\$

ANEXO 3 – Selo de calibração da balança agrícola utilizada

