



CURSO SUPERIOR EM TECNOLOGIA – SISTEMAS ELÉTRICOS

ANTONIO JACKSON M. DA SILVA

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE UM BIODIGESTOR PARA
PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA GRANJA SUÍNA A SER
CONSTRUÍDA NA FAZENDA BOM JESUS – MUNICÍPIO DE SÍTIO NOVO DO
TOCANTINS**

Palmas, TO.

Novembro/2016

ANTONIO JACKSON M. DA SILVA.

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE UM BIODIGESTOR PARA
PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UMA GRANJA SUÍNA A SER
CONSTRUÍDA NA FAZENDA BOM JESUS – MUNICÍPIO DE SÍTIO NOVO DO
TOCANTINS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito final para obtenção do Título de Tecnólogo do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas Elétricos, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins.

Orientador: Prof. Me. João Coelho de Sousa Filho

Co-orientador: Prof. Esp. Humberto Rodrigues Macedo

Palmas, TO.

Novembro/2016

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho principalmente aos meus pais Lino Pereira da Silva e Maria Miranda da Silva e também a minha noiva Ana Paula da Silva.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado força e saúde para poder terminar este trabalho.

Em segundo, agradeço a minha família pelo apoio que tem me dado durante todo esse tempo, por acreditar em mim e está sempre ao meu lado em todos os momentos de minha vida.

Agradeço aos meus amigos pelo incentivo e ajuda durante essa jornada.

Agradeço também aos professores do IFTO, principalmente João Coelho e Humberto Macedo, por todos os ensinamentos que eu adquirir ao longo da minha formação, transmitidos de forma grandiosa.

RESUMO

Atualmente uma das preocupações das pessoas está voltada para a procura de novas fontes energéticas, mais limpas e renováveis, que degrade pouco o meio ambiente como, por exemplo, a energia solar e eólica. Alinhado a esse tipo de energia surge a biomassa, através da utilização do biogás, que contém alta concentração de gás metano (CH₄), provinda da transformação anaeróbica. Sabe-se que esse é um gás cerca de vinte vezes mais poluente que o dióxido de carbono (CO₂), de tal forma, sendo um potencial problema para o efeito estufa. O objetivo geral deste trabalho aborda um estudo de viabilidade técnica e econômica para geração de energia elétrica através do biogás de biodigestor a ser implantado numa granja suína. Para isso, foi elaborado uma revisão bibliográfica e visitas na propriedade onde será construída a granja, para identificar qual melhor sistema se adequa à granja. Baseado em tabelas e cálculos foi possível determinar a capacidade produção de dejetos da granja e conseqüentemente a de biogás, o consumo elétrico atual da fazenda e uma média futura. Feito isto, foi calculado a capacidade de geração de energia elétrica e a viabilidade do projeto, diminuído o impacto ambiental, agregando valor ao biogás e também garantindo retorno financeiro.

Palavras-chave: Biogás, biomassa, energia elétrica, viabilidade econômica.

ABSTRACT

Currently one of the concerns of the people are facing the demand for energy sources, cleaner and renewable, that little degrade the environment, for example, solar and wind energy. Aligned with this type of energy arises biomass, by using the biogas containing high concentration of methane gas, coming from anaerobic processing, it is known that this is a gas about twenty times more polluting than carbon dioxide (CO₂), such being a potential problem for the greenhouse effect. The overall objective covers a study of technical and economic feasibility for electricity generation through biogas digester to be deployed on a swine farm. For this was prepared a literature review and visits on the property where will be built the farm to identify which best system would fit the farm, based on tables and calculations it was possible to determine the production capacity of the farm waste and consequently the biogas, consumption electric current farm and a future average, done that was calculated capacity of electric power generation and the feasibility of the project, thus, reduced environmental impact, adding value to biogas and also ensuring financial return.

Kei-words: Biogas, biomass, electricity, economic viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Biodigestor tipo batelada em corte frontal.....	15
Figura 2 - Vista frontal biodigestor modelo indiano	17
Figura 3 - Vista tridimensional do biodigestor modelo indiano	17
Figura 4 - Vista frontal biodigestor modelo chinês	19
Figura 5 - Vista tridimensional do biodigestor modelo chinês	20
Figura 6 - Representação em corte do modelo de biodigestor da marinha brasileira.	21
Figura 7 - Biodigestor simplificado do modelo desenvolvido pela marinha do Brasil	22
Figura 8 - Biodigestor canadense instalado	23
Figura 9 - Diversas formas para utilização do biogás.....	25
Figura 10 - Relação entre poder calorífico do biogás e a porcentagem em volume de metano	26
Figura 11 - Filtro por membrana.....	29
Figura 12 - Método Water Scrubbing	30
Figura 13 - Sistema de filtragem Pressure Swing Adsorption	31
Figura 14 - Esquema de captação das impurezas do biogás PSA.	32
Figura 15 - Conjunto motor-gerador	33
Figura 16 - Fluxograma de uma planta de produção de energia elétrica a partir do biogás.....	35
Figura 17 - Relação peso do suíno e produção de dejetos por dia	37
Figura 18 - Kit biogás	44
Figura 19 - Amostra de resultado para a amônia e gás sulfúrico	45
Figura 20 - Sistema de filtragem	46
Figura 21 - Conta de energia da fazenda.....	47
Figura 22 - Valores do kWh.....	48
Figura 23 - Modelos de geradores ER-BR	50
Figura 24 - Características Alternador WEG	51
Figura 25 - Critérios da simulação	58
Figura 26 - Resultados da simulação	58
Figura 27 - Desenvolvimento das ferramentas de viabilidade econômica.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fontes de biogás.....	24
Tabela 2 - Composição do biogás.....	25
Tabela 3 - Equivalência energética entre o biogás e outros combustíveis.....	27
Tabela 4 - Produção diária de dejetos suínos	37
Tabela 5 - Quantidade de dejetos líquido produzido em uma criação com 90 matrizes em ciclo completo de acordo com a composição do rebanho .	38
Tabela 6 - Relação quantidade de biogás (m ³)/dejetos (Kg)	43
Tabela 7 - Impostos embutidos na conta de energia elétrica	49
Tabela 8 - Consumo de biogás.	51
Tabela 9 - Potencial de geração de energia.....	52
Tabela 10 - Detalhamento do grupo gerador	53
Tabela 11 - Custos de implantação.....	56
Tabela 12 - Custos variáveis.....	57
Tabela 13 - Análise estatística do FC, VPL, IL e TIR	59

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
2.	PROBLEMÁTICA.....	12
3.	JUSTIFICATIVA.....	12
4.	OBJETIVOS.....	12
4.1.	Objetivo Geral.....	12
4.2.	Objetivos específicos.....	13
5.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	13
5.1.	Biodigestores.....	14
5.2.	Modelos de Biodigestores.....	14
5.2.1.	Biodigestor Tipo Batelada.....	14
5.2.2.	Biodigestor Tipo Contínuo.....	15
5.2.2.1.	Biodigestor modelo indiano.....	16
5.2.2.2.	Biodigestor modelo chinês.....	18
5.2.2.3.	Modelo de biodigestor da Marinha Brasileira.....	20
5.2.2.4.	Biodigestor modelo canadense.....	21
5.3.	Biogás.....	23
5.3.1.	Utilização do Biogás.....	24
5.3.2.	Composição.....	25
5.3.3.	Poder Calorífico.....	26
5.3.4.	Filtragem.....	27
5.3.4.1.	Método por membrana.....	28
5.3.4.2.	Método water scrubbing.....	29
5.3.4.3.	Sistema de filtragem Pressure Swing Adsorption.....	30
5.3.5.	Conversão de Biogás em Energia Elétrica.....	32

5.3.6.	Legislação Sobre a Microgeração e Minigeração de Energia Elétrica Interligada a Rede.....	33
6.	MATERIAIS E PROCEDIMENTOS.....	34
6.1.	Quantidade de suínos a serem criados	35
6.2.	Produção de dejetos na granja	36
6.3.	Dimensionamento do modelo de biodigestor a ser implantado.....	39
6.4.	Produção de biogás	42
6.5.	Sistema de Filtragem	45
6.6.	Sistema de Conversão.....	46
6.7.	Gastos atuais e estimativa de gastos com eletricidade da fazenda quando a granja estiver em funcionamento.	46
6.8.	Produção de energia elétrica	49
6.9.	Destinação da energia produzida	53
7.	AVALIAÇÃO DOS RISCOS ATRELADOS AO PROJETO	54
8.	ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA.....	54
8.1.	Fluxo de Caixa (FC)	54
8.2.	Payback	55
8.3.	Valor Presente Líquido (VPL)	55
8.4.	Índice de Lucratividade (IL).....	55
8.5.	Taxa interna de Retorno (TIR)	56
8.6.	Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	56
9.	ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA APLICADO AO PROJETO	56
10.	CONCLUSÕES.....	60
11.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

1. INTRODUÇÃO

Atualmente existem diversos projetos no Brasil (principalmente na região sul e sudeste) que utilizam o biogás proveniente de biodigestores para geração de energia elétrica, tanto no meio rural através do uso de dejetos dos animais, como: suínos, bovinos, aves, entre outros, quanto no meio urbano com uso do esgoto doméstico. Isto traz inúmeros benefícios, principalmente para o meio ambiente, uma vez que este tipo de geração pode ocasionar uma redução muito grande no potencial de poluição. Além da possibilidade de trazer uma economia muito grande para o produtor beneficiado com o projeto devido à redução acentuada no consumo de energia elétrica e também com a possibilidade de passar de consumidora para geradora nos momentos em que não esteja consumindo a energia produzida pelo fato de hoje já existir uma norma da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e também de acordo com as normas da Energisa que trata da microgeração interligada a rede.

Para que o biogás possa ser utilizado como combustível, seja em motores, turbinas a gás ou microturbinas, é necessário identificar sua vazão, composição química e seu poder calorífico, parâmetros que determinam o real potencial para geração de energia elétrica, além de permitir dimensionar o processo de pré-tratamento do biogás, como remoção de ácido sulfúrico (H_2S) e da umidade, com o propósito de evitar danos aos equipamentos da instalação e aumentar seu poder calorífico.

O aproveitamento energético do biogás objetiva a melhoria do aproveitamento global do tratamento de resíduos de animais e do esgoto, reduzindo a emissão de gases estufa, aumentando a produção energética do país, através de uma forma de geração sustentável (ZANIN; BECKER; SANTOS, 2014).

Neste contexto o referido trabalho visa apresentar um estudo para minimização do impacto ambiental que a granja possa ocasionar e dos custos ao longo da produção, já que estes empreendimentos requerem custos elevados para instalação e manutenção.

2. PROBLEMÁTICA

A problemática deste trabalho consiste em apresentar quais benefícios a instalação de um biodigestor pode trazer à propriedade, ou seja, além do ganho para o meio ambiente com o correto tratamento dos dejetos, se a instalação do biodigestor é possível e qual o ganho em economia que o projeto pode trazer para a granja e para fazenda num todo.

3. JUSTIFICATIVA

Com a crescente preocupação com a preservação ambiental e os elevados custos que se tem para manter granjas suínas, principalmente com energia elétrica, o biodigestor surge como uma alternativa para a minimização desses custos, através da produção de biogás e biofertilizantes.

O biogás surge então como uma excelente fonte alternativa, principalmente por dois motivos. Primeiramente porque o gás metano (CH_4), que uma vez era lançado na atmosfera pode se utilizado para algumas finalidades, entre elas a geração de energia elétrica e, segundo, traz uma solução viável para a grande quantidade de dejetos dos animais da granja. Então, o referido trabalho tem basicamente a finalidade de mostrar uma destinação correta para os dejetos e a viabilidade econômica da produção de energia elétrica.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é elaborar um estudo de viabilidade para implantação de um biodigestor para produção de energia elétrica, a partir de dejetos suínos.

4.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- determinar a média de dejetos produzidos pelos porcos no sistema em ciclo completo;
- dimensionamento correto do biodigestor que melhor se adequa à produção da granja;
- calcular a quantidade de biogás produzido pelo referido biodigestor;
- especificar o conjunto gerador a partir do biogás produzido;
- custos para implantação do biodigestor;
- produção de energia elétrica;
- formas de aproveitamento do biogás produzido.

5. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A utilização de gás metano, produzido pela fermentação anaeróbia em biodigestores para a geração de energia elétrica já é uma tecnologia bem desenvolvida no Brasil. Por esse motivo, há atualmente diversas obras já publicadas a respeito do assunto, entre livros, artigos, dissertações (de graduação, mestrado e doutorado), além de outras não menos importantes. Entre essas obras vale citar Dongala (2010), onde em sua dissertação de mestrado apresenta um projeto de geração de energia elétrica a partir de biodigestores localizado na Angola e também livro Biogás – a energia invisível (BLAY JR, 2014). Outra obra importante é o livro Biogás – Projetos e Pesquisas no Brasil (CETESB, 2006).

Uma obra que também vale citar é Coldebella (2006) que fez um estudo de viabilidade no uso de biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia. Neste estudo, realizado em duas propriedades no município de Toledo/PR, uma com atividade de bovinocultura de leite com 130 cabeças em regime de confinamento e a outra de suinocultura com 1.000 matrizes, foi necessário determinar o consumo de biogás por HP/hora. Para isso foi utilizado um compressor para abastecer uma bolsa denominada gasômetro, com a quantidade de biogás conhecida dentro do gasômetro o mesmo foi conectado a motores que permaneceram em funcionamento até consumir todo biogás. A partir disto foi determinado que o consumo de biogás na bovinocultura foi de 0,981m³/HP/hora

para o conjunto motor-bomba e 2,77m³/HP/hora para o gerador, já o consumo na suinocultura foi de 1,113m³/HP/hora e 0,79m³/HP/hora para o gerador e motor-bomba respectivamente. A partir então de outras análises feitas, determinou-se o custo da energia gerada está em função do aproveitamento da capacidade da planta e do custo do biogás, para o biogás da bovinocultura o custo da energia gerada foi de R\$ 465,07 por MWh e para o biogás da suinocultura o custo é de R\$ 90,86 por MWh considerando que ambas as plantas estejam operando durante de 10 horas diárias. Para finalizar sua análise, considerando um tempo de amortização de 10 anos e o sistema de geração operando durante 4 horas diárias, além disso, a economia gerada pelo sistema de irrigação o tempo de retorno do investimento feito foi de 4,3 e 6,7 anos para bovinos e suínos respectivamente.

5.1. Biodigestores

Biodigestores são estruturas hermeticamente fechadas nas quais podem ser acumuladas grandes quantidades de dejetos orgânicos que, por digestão anaeróbica, produzem biogás. O metano (CH₄) é o principal componente energético do biogás. Após ser purificado, esse gás pode ser utilizado para aquecimento, resfriamento e sistemas de geração de energia elétrica (DONGALA, 2010, p 30).

5.2. Modelos de Biodigestores

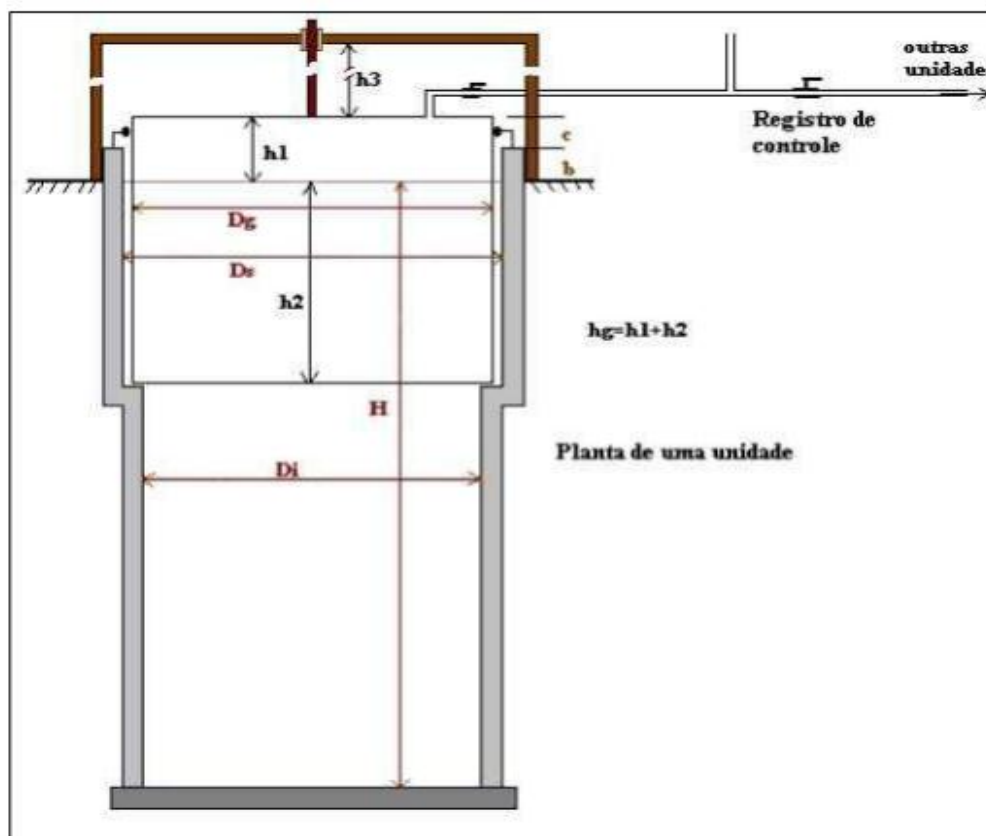
Junqueira (2014, p.7), classifica os biodigestores em 2 (dois) tipos: batelada e contínuo.

5.2.1. Biodigestor Tipo Batelada

Nesse sistema, insere-se a matéria prima no biodigestor fechado, totalmente sem ar, para que possa ser realizada a fermentação anaeróbica do material. O gás é inserido e armazenado num gasômetro acoplado ao próprio biodigestor. Após a produção do biogás o biodigestor é aberto e são retirados os resíduos sólidos e feita a limpeza, feito isto se inicia uma nova produção. Esse sistema é simples e de fácil operação (JUNQUEIRA, 2014, p. 7).

A Figura 1 apresenta uma planta do modelo de biodigestor tipo batelada.

Figura 1 - Biodigestor tipo batelada em corte frontal



Fonte: JUNQUEIRA, 2014.

Onde:

Di: Diâmetro interno do biodigestor;

Ds: Diâmetro interno da parede superior;

Dg: Diâmetro do gasômetro;

H: altura do nível de substrato;

h1: altura ociosa do gasômetro;

h2: altura útil do gasômetro;

h3: altura útil para deslocamento do gasômetro;

b: altura da parede do biodigestor acima do nível do substrato;

c: altura do gasômetro acima da parede do biodigestor.

5.2.2. Biodigestor Tipo Contínuo

Por sua vez no sistema contínuo, diferentemente do tipo batelada, enquanto o biodigestor é alimentado sua produção nunca cessa. Esse sistema é alimentado continuamente com um substrato que seja de fácil degradação e

disponível abundantemente no local através de dutos de alimentação, enquanto o biogás é extraído por tubulação na parte superior e o biofertilizante é removido através de dutos de saída (JUNQUEIRA, 2014, p. 9).

Os modelos mais utilizados de biodigestores contínuos são o indiano, o chinês, da marinha brasileira e o biodigestor canadense.

5.2.2.1. Biodigestor modelo indiano

Este modelo de biodigestor caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação ou em um selo d'água externo e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória faz com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação (DONGALA, 2010, p. 33).

A biomassa flui por todo o tanque do biodigestor com mínima mobilidade. Esse biodigestor possui pressão de operação constante, ou seja, à medida que o volume de gás produzido aumenta e não é consumido de imediato o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente aumentando o volume deste, portanto, mantendo a pressão no interior do gasômetro uniforme.

O fato de o gasômetro estar disposto ou sobre o substrato ou sobre o selo d'água reduz as perdas durante o processo de produção do gás. O resíduo a ser utilizado para alimentar o biodigestor indiano, deverá ser corretamente dissolvido e apresentar uma concentração de Sólidos Totais (ST) não menor ou igual a 8%, para facilitar à ação das bactérias metanogênicas, a circulação da biomassa pelo interior da câmara de fermentação e evitar entupimentos nos condutos de entrada e saída do material. O abastecimento também deverá ser contínuo, ou seja, geralmente é alimentado por dejetos bovinos, suínos ou avícolas, que apresentam certa regularidade no fornecimento de dejetos.

O gasômetro pode ser construído em chapas de ferro ou em fibra de vidro. A vantagem de se construir o gasômetro em fibra de vidro é que este material não sofre a ação de agentes corrosivos como o gás sulfídrico presente na mistura gasosa. Caso o mesmo seja construído em fibra de vidro devem-se adicionar pesos sobre o biodigestor a fim de aumentar a pressão do biogás (OLIVEIRA, 2009, p. 29).

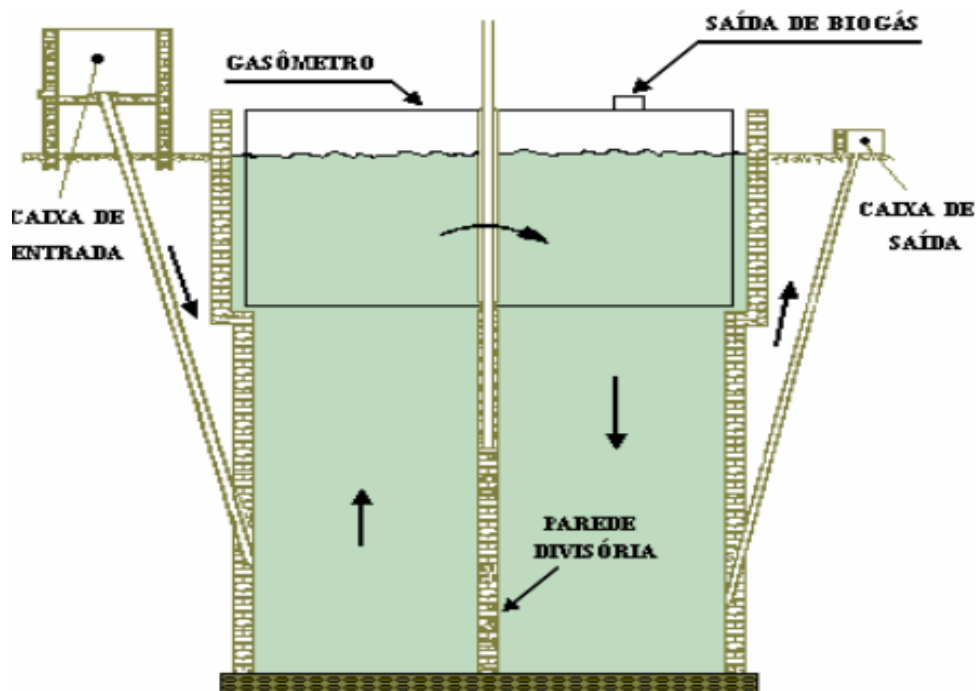
É um modelo de biodigestor que mostrar-se de fácil construção, contudo, o gasômetro de metal pode encarecer o custo final e também a distância da propriedade pode dificultar e onerar o transporte inviabilizando a implantação deste modelo de biodigestor. Em função da variabilidade do solo e da profundidade dos lençóis freáticos próximos, é possível alterar a profundidade do biodigestor em função do diâmetro. Assim, quanto menor a profundidade maior deverá ser o diâmetro, e vice-versa (DONGALA, 2010, p.33).

Uma das vantagens do modelo indiano é que o mesmo pode ser construído em clima frio/temperado ou mesmo tropical, bastando alterar a relação diâmetro-profundidade do mesmo (DONGALA, 2010, p.35).

A Figura 2 na próxima página apresenta a vista frontal em corte do modelo indiano apresentando o movimento da massa dentro do recinto e o gasômetro, e também as caixas de entrada e saída.

A Figura 3 na pagina seguinte apresenta o mesmo modelo na forma tridimensional em corte, onde se pode ver todo seu interior, a parede divisória, entrada e saída dos dejetos e também tubulação de saída do biogás.

Figura 2 - Vista frontal biodigestor modelo indiano



Fonte: NEPPA, 2015.

Figura 3 - Vista tridimensional do biodigestor modelo indiano



Fonte: PRATI, 2010.

5.2.2.2. Biodigestor modelo chinês

O modelo de biodigestor chinês é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria para fermentação, destinado ao armazenamento do biogás. O princípio de funcionamento desse modelo é uma prensa hidráulica, de modo que os aumentos de pressão em seu interior, devido ao acúmulo de biogás, resultarão em deslocamentos do afluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre a descompressão (DEGUNATTI, et. al, 2002).

Por ser construído totalmente de alvenaria, pode vir a ocorrer vazamentos do biogás caso a estrutura não seja bem vedada e impermeabilizada. Neste tipo de biodigestor, uma parcela de gás formado na caixa de saída é libertada para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás. Por este motivo as construções de biodigestores modelo Chinês não são utilizados para instalações de grande porte (DEGUNATTI, et. al, 2002).

Uma das desvantagens em relação ao modelo indiano é que o biodigestor chinês necessita observar medidas que se relacionam entre si (profundidade e diâmetro), o que pode inviabilizar sua instalação quando o solo for pedregoso e/ou encharcado (DONGALA, 2010, p. 31).

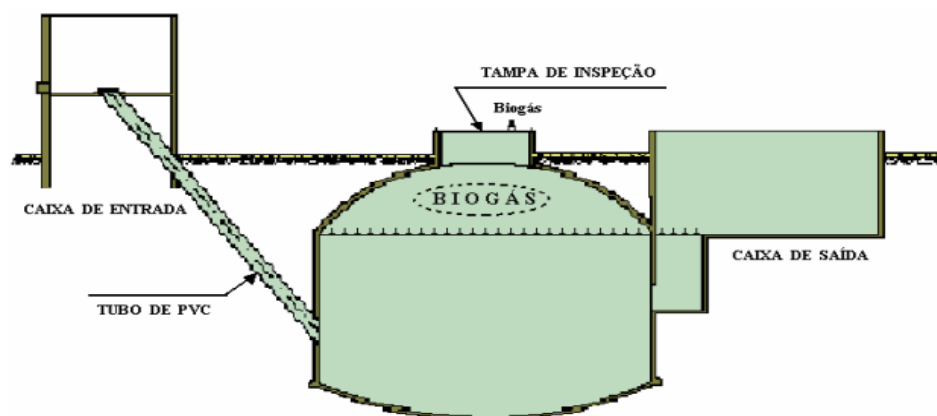
Outra desvantagem relacionada a esse modelo de biodigestor é a técnica usada para sua construção. A construção, todo em alvenaria, demanda um trabalho de pedreiro experiente, pois os tijolos usados na construção da câmara onde a biomassa é digerida (que se localiza abaixo da câmara do gás) precisam ser assentados sem o recurso de escoramento. Utiliza-se uma técnica que emprega o próprio peso do tijolo para mantê-lo na posição necessária, até que a argamassa seque. As paredes externas e internas precisam ser revestidas com emboço de “massa forte” e receber uma boa camada de impermeabilizante, como forma de impedir infiltrações de água (proveniente da água absorvida pelo solo durante as chuvas ou de algum lençol freático próximo) e também de vazamentos de gás através de trincas ou rachaduras (DONGALA, 2010, p. 31).

Semelhante ao modelo Indiano, o substrato deve ser fornecido continuamente, com a concentração de ST (sólidos Totais) em torno de 8%, para evitar entupimentos do sistema de entrada e facilitar a circulação do material (DEGUNATTI, et. al, 2002).

O biogás fornecido pelo biodigestor modelo chinês pode canalizado até o destino de consumo numa residência (cozimento de alimentos, aquecimento, iluminação com lâmpões, etc) ou ser utilizado para qualquer outra finalidade, através da queima do mesmo em grupos geradores de energia elétrica, que tem amplo uso numa propriedade rural (DONGALA, 2010, p. 32).

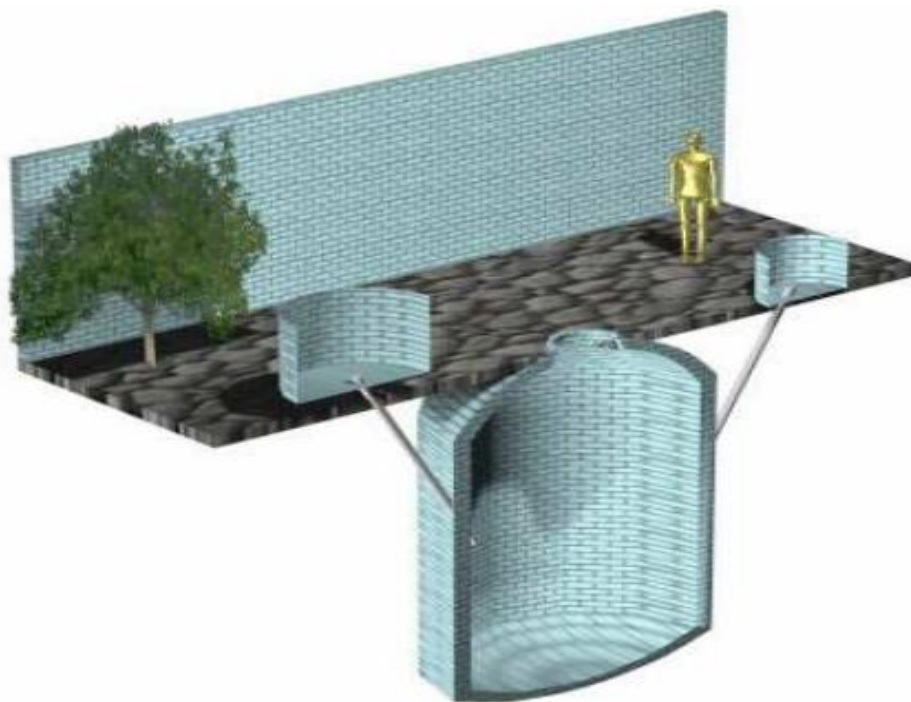
Nas Figuras 4 e 5 são apresentadas o referido biodigestor, na primeira é apresentado a vista frontal e em seguida na forma tridimensional, onde pode ver todo seu interior.

Figura 4 - Vista frontal biodigestor modelo chinês



Fonte: BALMAT, 2009.

Figura 5 - Vista tridimensional do biodigestor modelo chinês



Fonte: PRATI, 2010.

5.2.2.3. Modelo de biodigestor da Marinha Brasileira

Na década de 70, o Instituto de Pesquisa da Marinha do Brasil (IPqM) realizou estudos sobre biodigestores e acabou criando alguns modelos: Marinha I, com 5,5m³ de capacidade para resíduo e produção de 1,8 a 3,0 m³ de biogás por dia, Marinha II, com 22 m³ de capacidade para resíduo e produção de 6 a 10m³ de biogás ao dia, Marinha III, com 65m³ de capacidade para resíduo e produção de 15 a 30 m³ de biogás ao dia, além de alguns outros modelos especiais (OLIVEIRA, 2009, p. 32).

O biodigestor desenvolvido pela Marinha do Brasil apresenta uma base quadrangular, com paredes revestidas por lona impermeável e uma cúpula de lona preta também impermeável. É um modelo mais raso e longo, o que lhe permite uma maior produtividade de gás por massa fermentada. Sua instalação encontra maiores problemas no que diz respeito ao espaço físico disponível para sua instalação. Pelo fato de ter uma profundidade relativamente pequena se comparado com os outros, necessita de uma grande área superficial para que possa armazenar uma grande quantidade de dejetos (PRATI, 2010, p. 29).

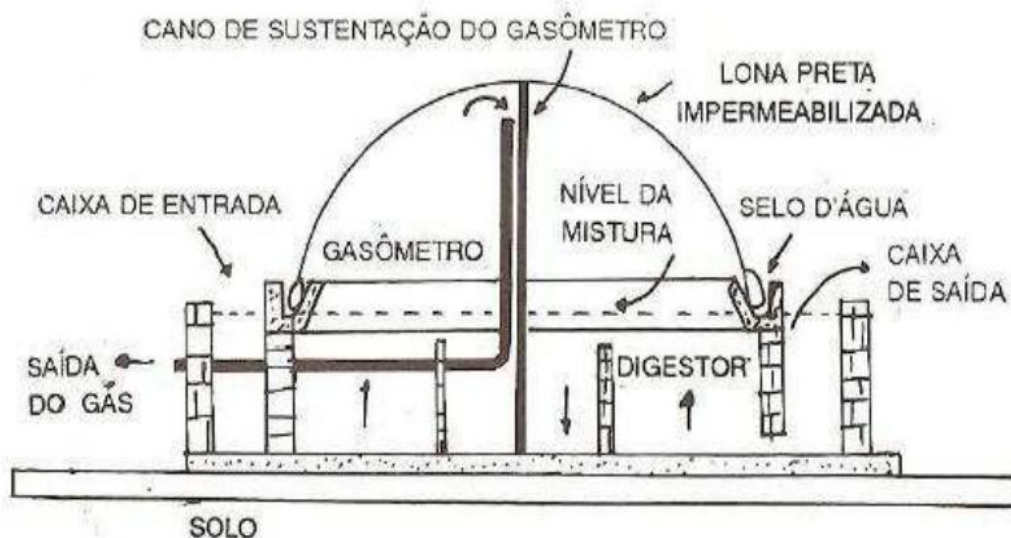
Esse modelo é o mais recomendado para projetos indústrias e agroindustriais por ser versátil ao uso de diferentes resíduos orgânicos e ser capaz

de armazenar grande quantidade de resíduos passível de sofrer fermentação, produzindo assim uma considerável quantidade de biogás e estabilizando os dejetos que podem ser aproveitados como fertilizantes (OLIVEIRA, 2009, p. 33).

Atualmente esse modelo de biodigestor é o que vem sendo mais difundido no Brasil devido ao aperfeiçoamento da manta impermeável que passou a ser confeccionado em Policloreto de Vinila (PVC), o que confere redução dos custos e maior facilidade de instalação quando comparado com modelos antigos, como o Indiano e o Chinês, além de apresentar maior resistência à corrosão provocada pela água e pelo ácido sulfídrico presente na mistura gasosa. Outra vantagem é que o mesmo pode ser utilizado em pequenos como em grandes projetos (manual de biodigestão, 2008, p. 5). É também um digestor mais raso e longo, o que lhe permite uma maior produtividade por massa fermentada.

Na Figura 6 é apresentada a representação em corte de um biodigestor modelo da Marinha.

Figura 6 - Representação em corte do modelo de biodigestor da marinha brasileira.



Fonte: PRATI, 2010.

5.2.2.4. Biodigestor modelo canadense

Existe uma variação do modelo de biodigestor criado pela marinha do Brasil, também conhecido como modelo canadense ou biodigestor de fluxo tubular. Possui uma construção simples, porém, apresenta uma tecnologia mais moderna, por isso, atualmente é o modelo mais difundido no mundo, e mais aplicado no

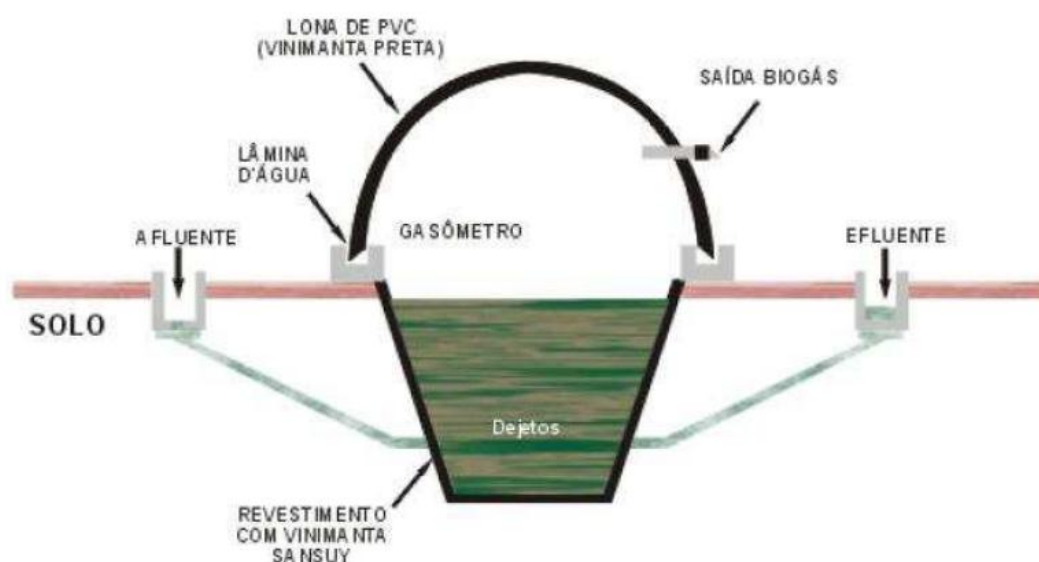
Brasil, inclusive superando o modelo da marina Brasileira (JUNQUEIRA, 2014, p. 15).

Na sua construção, a câmara de biodigestão é escavada no solo e um gasômetro inflável feito de material plástico ou similar bastante resistente. É um biodigestor do tipo horizontal, com uma caixa de entrada construída em alvenaria, onde a profundidade é menor que a largura, para que o substrato tenha maior exposição ao sol de modo a aumentar a produção de biogás e evitar o entupimento do duto de entrada (JUNQUEIRA, 2014, p. 16).

A recomendação é para que sua construção seja abaixo do solo para impedir severas variações de temperatura que possam ocorrer, além de aproveitar o calor do solo e o calor gerado pela manta exposta ao sol, já que 90% do aquecimento do biodigestor provem dos raios solares incidindo sobre a lona preta (OLIVEIRA, 2009, p. 34).

A Figura 7 apresenta das características desse modelo de biodigestor.

Figura 7 - Biodigestor simplificado do modelo desenvolvido pela marinha do Brasil



Fonte: JUNQUEIRA, 2014.

A Figura 8 apresenta o modelo canadense instalado numa projeto na estação experimental de caraíbas, em Jaguari/BA.

Figura 8 - Biodigestor canadense instalado



Fonte: OLIVEIRA, 2009.

5.3. Biogás

O biogás é um combustível gasoso com conteúdo energético elevado semelhante ao gás natural, obtido da fermentação anaeróbia de material orgânico encontrado em resíduos de animais e vegetais, lodo de esgoto, lixo ou afluentes industriais, como vinhaça, restos de matadouros, curtumes e fabricas de alimentos (PRATI, 2010, p. 13).

Quando a digestão anaeróbia é realizada em biodigestores especialmente planejados, a mistura gasosa produzida pode ser usada como combustível, o qual, além de seu alto poder calorífico, de não produzir gases tóxicos durante a queima e de ser uma ótima alternativa para o aproveitamento do lixo orgânico, ainda deixa como resíduo um lodo que é um excelente biofertilizante (PRATI, 2010, p. 13).

A Tabela 1 apresenta alguns das principais matérias potencialmente, que submetido a processo de biodigestão natural ou artificial, são capazes de produzir biogás. Além destes apresentados na Tabela 1, tem também os resíduos vegetais, como por exemplo, restos de culturas, capim e palha.

Tabela 1 - Fontes de biogás

Matérias primas fontes de biogás
Fezes Suínas
Fezes Bovinas
Fezes de Aves
Resíduos Orgânicos
Esgoto
Resíduos de Abatedouros
Resíduos de cervejarias e vinícolas
Soro de Queijo

Fonte: PRATI, 2010.

5.3.1. Utilização do Biogás

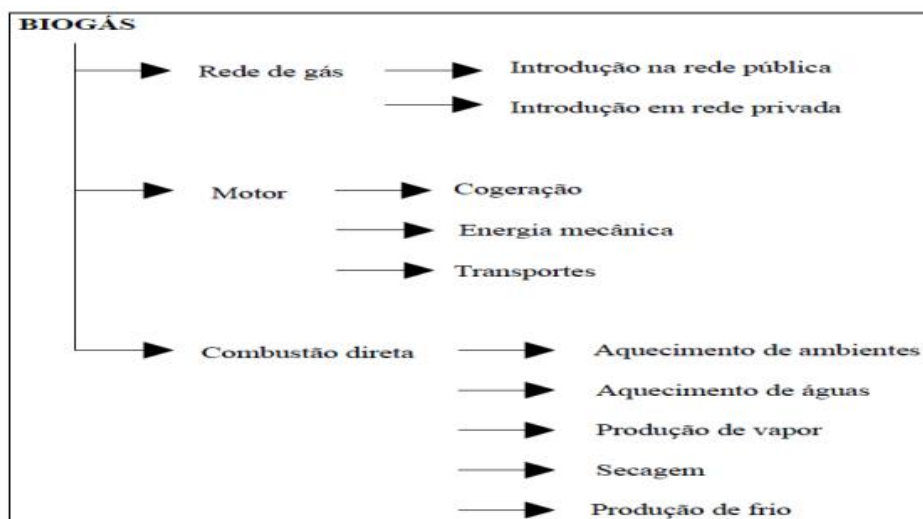
Segundo Flores (2014, p. 12), o biogás é um combustível gasoso com teor energético semelhante ao gás natural. Obtido através da ação de determinadas espécies de bactérias pode ser utilizado para diversas aplicações, como é mostrado na Figura 9.

O emprego do biogás independente da forma de energia produzida, elétrica, térmica ou mecânica, demanda equipamentos específicos e adaptados por se tratar de um gás gerado com fluxo de baixa pressão. A adaptação consiste em aumentar o diâmetro de vazão do injetor. Os geradores e os fornos são necessários pra transformar o biogás em energia elétrica ou térmica, respectivamente (FLORES, 2014, p. 13).

O interesse em utilizar o biogás é despertado por gerar renda, economia, e principalmente reduzir os impactos ambientais.

A Figura 9 apresenta algumas das principais áreas em que é utilizado o biogás. Como pode ser observado na Figura 9, o biogás pode ser trabalhado em diversas áreas distintas, sendo sua maior incidência na utilização em motores principalmente para a geração de energia elétrica e com menos incidência em veículos automotores, principalmente no transporte público

Figura 9 - Diversas formas para utilização do biogás



Fonte: FLORES, 2014.

5.3.2. Composição

Segundo Flores, (2014, p. 12), o biogás é composto de diversos gases, entre o principal o gás metano (CH_4) que corresponde cerca de 50% a 80%. A quantidade de metano produzido varia de acordo com alguns fatores, por exemplo: quantidade, o tipo de biomassa, clima, e dimensão do biodigestor.

A Tabela 2 apresenta o percentual das substâncias presentes na composição do biogás.

Tabela 2 - Composição do biogás

Composição	%
Metano (CH_4)	50 – 80
Dióxido de Carbono (CO_2)	25 – 50
Nitrogênio (N_2)	0 – 7
Gás Sulfídrico (H_2S)	0 – 3
Oxigênio (O_2)	0 – 2
Hidrogênio (H_2)	0 – 1
Amoníaco (NH_3)	0 – 1
Monóxido de Carbono (CO)	0 – 0,2
Gases em menor concentração	0,01 – 0,6

Fonte: COLDEBELLA, 2006.

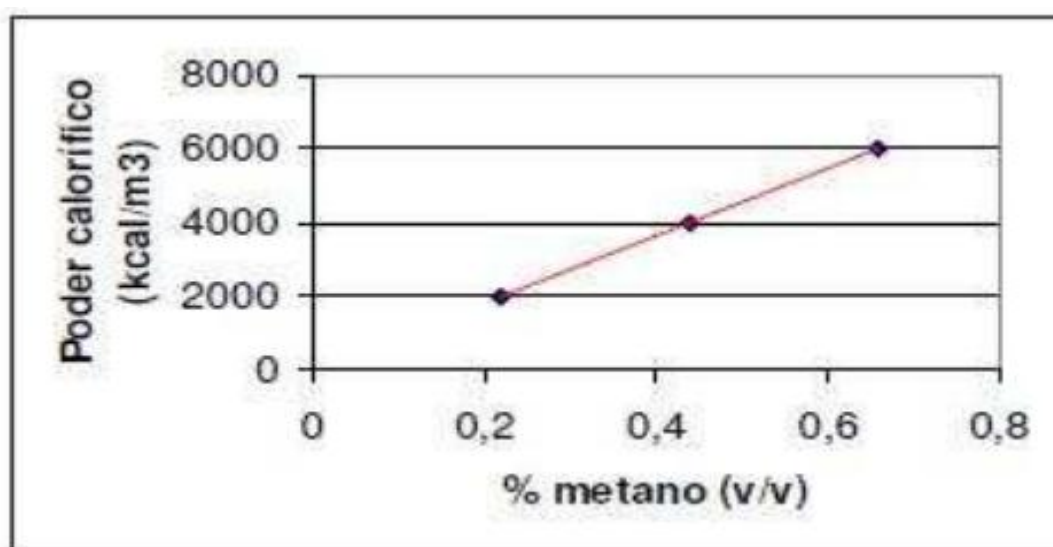
5.3.3. Poder Calorífico

O biogás poder ser utilizado nas condições em que é produzido e estas condições dependem de alguns fatores, por exemplo: pressão, temperatura, umidade, concentração de metano e concentração de gases inertes e ou ácidos. Contudo em algumas aplicações se torna necessário uma filtragem do biogás para aumentar seu poder calorífico e evitar danos a equipamentos. Isso é possível com a redução dos níveis de H_2S , CO_2 , redução da umidade ou mesmo a elevação da pressão (KUNS, PAULILLO, 2013, p. 11).

A Figura 10 apresenta a relação entre o poder calorífico do biogás e a porcentagem em volume de metano presente no mesmo. A partir da observação da Figura 10, pode-se concluir que a porcentagem de metano é diretamente proporcional ao poder calorífico do biogás, ou seja, quanto maior a porcentagem de metano no biogás, maior é seu poder calorífico.

O uso do biogás como alternativa energética, com teor de metano entre 50 e 80%, terá um poder calorífico entre 4,95 e 7,92 kWh/m³. Este fator deve-se principalmente ao CH_4 , que puro e em condições normais de pressão e temperatura, pode obter poder calorífico de aproximadamente 9,9 kWh/m³, (COLDEBELLA, 2006, p. 13).

Figura 10 - Relação entre poder calorífico do biogás e a porcentagem em volume de metano



Fonte: PRATI, 2010.

A Tabela 3 apresenta a equivalência energética entre 1m³ de biogás comparado a outros combustíveis.

Tabela 3 - Equivalência energética entre o biogás e outros combustíveis

Combustível	Quantidade equivalente
Gasolina	0,61 L
Querosene	0,57 L
Óleo diesel	0,55 L
Etanol	0,79 L
Lenha	1,54 Kg
Energia elétrica	6,45 kWh
Gás liquefeito	0,45 Kg

Fonte: SANTOS, 2000, apud COLDEBELLA, 2006.

Segundo Kuns; Paulillo (2013, p.13), os gases que fazem parte do biogás têm solubilidades distintas em água, assim quando se trata de purificação do biogás para aumentar significativamente seu poder calorífico pela remoção do CO₂, esta informação é de grande valia na escolha do sistema de filtragem, uma vez que, alguns sistemas de limpeza farão uso desta solubilidade para separação dos gases.

5.3.4. Filtragem

Para uma melhor utilização do biogás e aumento do seu poder de queimar e também eliminar as substâncias corrosivas (gás sulfúrico e água) é preciso tratar e purificar o gás produzido (BRAZ; ARAUJO, 2013, p. 45).

A presença de substâncias não combustíveis pode diminuir o rendimento do biogás tornando-o menos eficiente devido ao poder de combustão ser menor, uma vez que essas substâncias absorvem parte da energia a gerada. Ao passo que se eleva a concentração de impurezas, o poder calorífico do biogás diminui (PRATI, 2010, p. 19).

O processo de purificação do biogás consiste, basicamente, na secagem, separação do Dióxido de Carbono (CO₂) do biogás e na limpeza do biogás para a retirada de diversos tipos de resíduos (BRAZ; ARAUJO, 2013, p. 45).

Assim como os gases puros, as propriedades do biogás dependem da temperatura e da pressão variando com elas e com o teor de umidade. O principal fator quando se trata de gases para fins de geração de energia elétrica é conhecer seu volume, seu poder calorífico e a própria umidade (PRATI, 2010, p. 19).

Atualmente existem diversos sistemas de filtragem, dentre esses podemos citar o mais importantes, que são: Método por membrana, Water Scrubbing (WS) e o Pressure Swing Adsorption (PSA), (HAAS, 2013, p. 9).

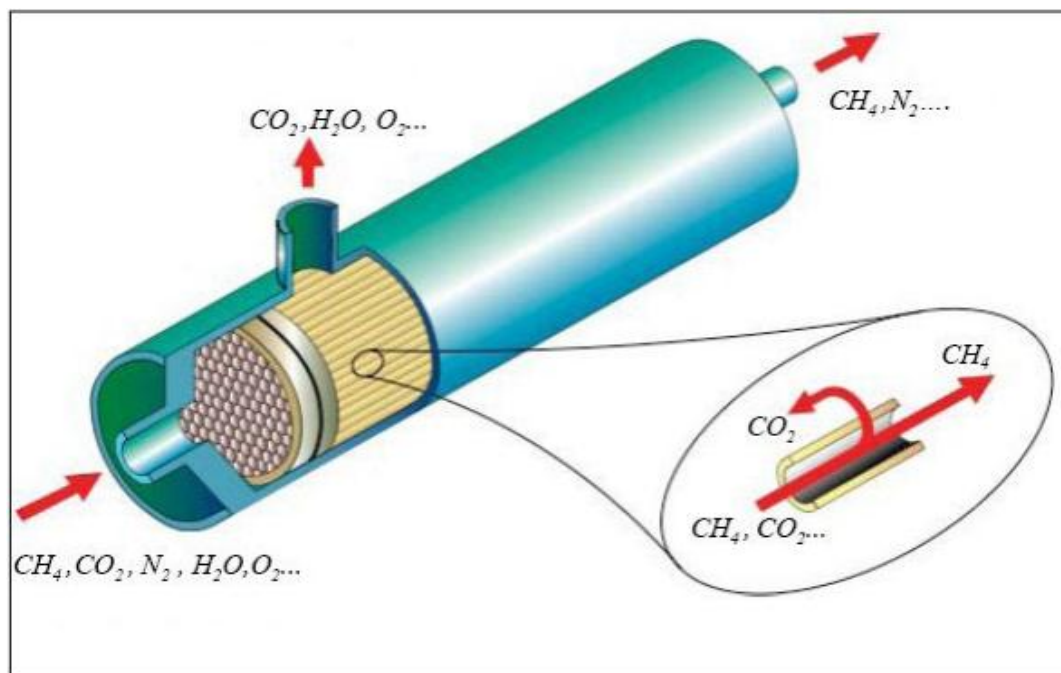
5.3.4.1. Método por membrana

O método por membrana é muito utilizado atualmente, principalmente para biocombustíveis. Este processo já é conhecido há algum tempo, mas, devido a seu custo elevado recentemente, com novos desenvolvimentos, tornou-se viável economicamente, (HAAS, 2013, p. 9).

Este processo parte do princípio que o biogás possui componentes que podem ser transportados através de uma membrana fina que possui menos 1mm, enquanto que, outros componentes ficam retidos na membrana e isso acontece por diferença de pressão parcial e pela dependência do componente à permeabilidade do material da membrana. Deve-se levar neste processo a pureza do metano, a pressão e a temperatura de trabalho. Existem diversos tipos de membrana no mercado, mas as membranas de acetato-celulose são mais permeáveis ao CO₂, O₂ e H₂S. Para remover o CO₂ do biogás usando essa técnica, os melhores resultados obtidos foram com pressão de 5,50 bar e temperatura de 25,0 °C, (HAAS, 2013, p. 9).

Segundo Braz e Araújo (2013, p. 46), este método tem como vantagem, baixo custo de manutenção por não haver partes móveis, baixas exigências de energia. Como desvantagem tem-se ainda um custo um pouco elevado, de fácil contaminação por suspensores presentes no gás a ser tratado e a possível degradação pela ação de alguns tipos de solventes. Na Figura 11 pode-se verificar a mecânica deste processo.

Figura 11 - Filtro por membrana



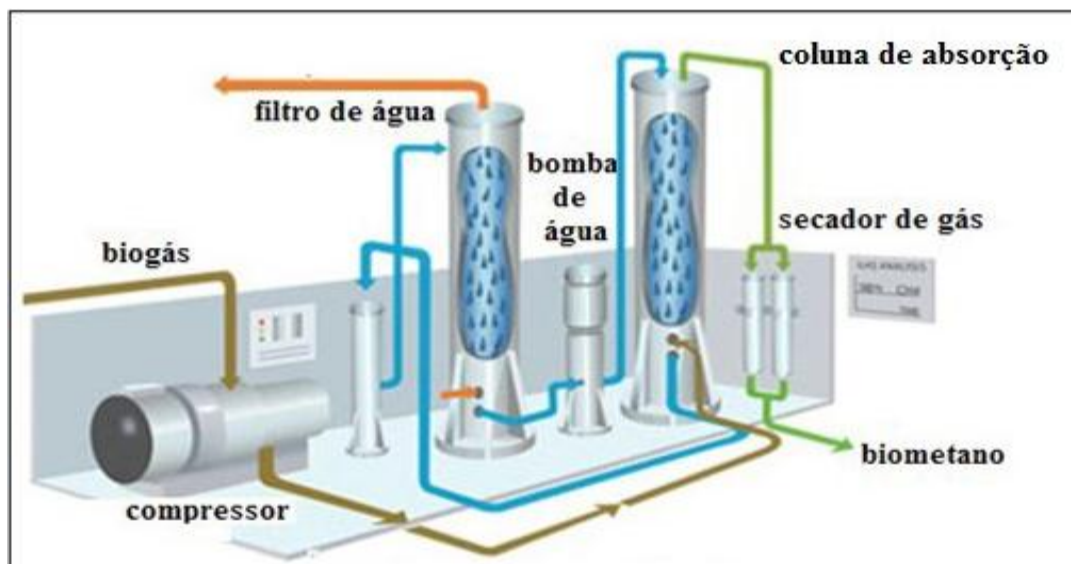
Fonte: BRAZ; ARAUJO, 2013.

5.3.4.2. Método water scrubbing

No método WS, o processo é baseado na lavagem do biogás por contra corrente, sendo este uma das técnicas mais simples, eficiente e barato de lavagem do biogás, pois envolve apenas água pressurizada e pouca infraestrutura. Este método de remoção de gás carbônico e ácido sulfúrico é bastante conhecido na Suécia, França e EUA em instalações de produção e purificação de biogás (HAAS, 2013, p. 10).

Neste processo, o biogás é comprimido e alimentado no sentido ascendente da base de uma coluna de absorção e a água pressurizada é pulverizada em sentido descendente. Assim, o CO_2 e sulfeto de hidrogênio são dissolvidos na água, sendo recolhidos no fundo da torre de absorção. A água pode ser reciclada e usada para a primeira lavagem do biogás. Por fim o biogás é secado e disponibilizado para uso (BRAZ; ARAUJO, 2013, p. 46). A Figura 12 apresenta o esquema do método WS.

Figura 12 - Método Water Scrubbing



Fonte: BRAZ; ARAUJO, 2013.

5.3.4.3. Sistema de filtragem Pressure Swing Adsorption

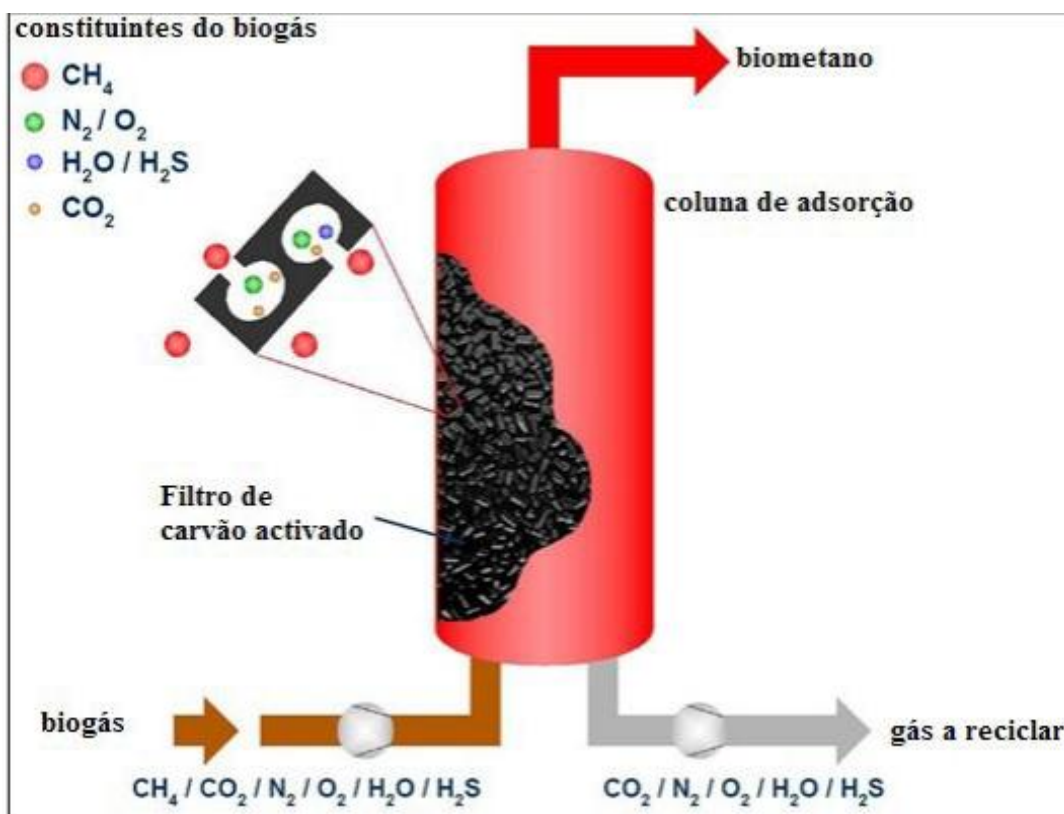
Já o processo por PSA usa a adsorção, fixação de moléculas de gases ou líquidos à superfície de outra substância, que envolve transferência do soluto do gás à superfície de um material sólido. Os adsorventes comerciais são geralmente sólidos granular com uma área de superfície grande por unidade de volume. Dependendo do adsorvente utilizado no processo pode-se remover seletivamente ou simultaneamente o CO_2 , H_2S , umidade e outras impurezas do biogás. A purificação do biogás pode também ser realizada usando alguns adsorventes como sílica, alumina, carvão ativado ou silicatos, (SALOMON, 2007, *apud* BRAZ; ARAUJO, 2013 p. 47).

O método PSA ocorre em altas temperaturas e pressões, possui uma boa capacidade de remoção de alta queda de pressão, (SALOMON, 2007, *apud* BRAZ; ARAUJO, 2013, p. 47).

Segundo Haas (2013, p. 11), o sistema é composto de quatro colunas e, durante o processo, o biogás é injetado pela base das colunas de adsorção. Na coluna de adsorção, o CO_2 , O_2 , e N_2 são retidos, fazendo com que na saída das colunas, o gás contenha mais de 97% de CH_4 .

A Figura 13 mostra como os materiais usados para a adsorção selecionam apenas algumas moléculas do gás.

Figura 13 - Sistema de filtragem Pressure Swing Adsorption

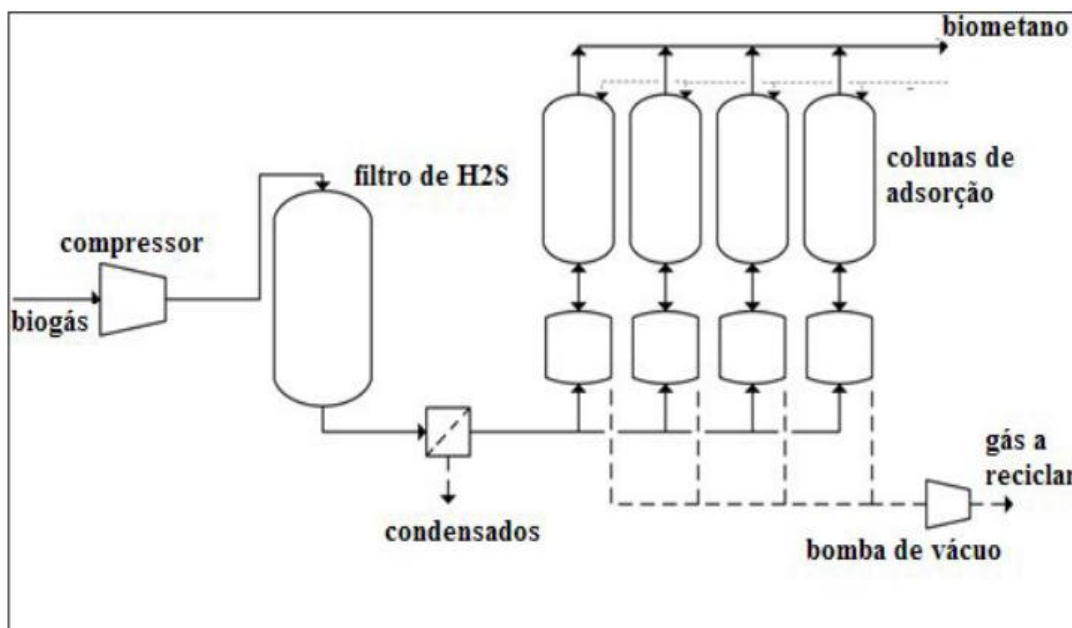


Fonte: HAAS, 2013.

Antes da coluna de adsorção estar completamente saturada com impurezas, a fase de adsorção é parada e é passada para outra coluna de adsorção que já tenha sido regenerada, para assegurar o funcionamento contínuo. A regeneração das colunas de adsorção é feita mediante sua despressurização até à pressão atmosférica e em seguida abaixo de 1atm. O gás libertado pelas colunas de adsorção nesta fase contém grandes quantidades de CH₄, o qual deve ser reciclado, passando-se novamente para o biogás a purificar. Antes de se passar novamente à fase de adsorção, cada coluna é novamente pressurizada até à pressão de adsorção. (HAAS, 2013, p. 11).

A Figura 14 ilustra o esquema do processo de filtragem por PSa. mostra

Figura 14 - Esquema de captação das impurezas do biogás PSA.



Fonte: HAAS, 2013.

5.3.5. Conversão de Biogás em Energia Elétrica

A conversão de biogás em energia elétrica, principalmente devido aos avanços tecnológicos, pode ser obtida de diversas formas. As tecnologias mais utilizadas são a utilização de microturbinas e motores ciclo otto.

Devido a fato de as microturbinas apresentarem alto custo e o tempo de vida útil ser considerado baixo não é recomendado o seu uso. Os motores ciclo otto necessitam de pequenas modificações para seu funcionamento com biogás, porém, uma das desvantagens dos motores ciclo otto e que eles não são os mais indicados para produção de eletricidade. Com isso surgiu a produção de energia através de motores ciclo diesel, devido a sua robustez e baixo custo de manutenção, com algumas modificações para o biogás (PRATI, 2010, p. 34-35).

As principais tecnologias utilizadas para introdução de biogás em motores ciclo diesel é a ottolização e a conversão bicomustível diesel/gás.

Flores (2014, p. 19) cita que atualmente já existem empresas especializadas nessa tecnologia, fornecendo Grupo-gerador totalmente adaptados ao biogás para atender a pequena e grande produção de energia. A Figura 15 exemplifica o conjunto motor-gerador mais utilizados ultimamente.

Figura 15 - Conjunto motor-gerador



Fonte: BIOGÁS MOTORES, 2015.

5.3.6. Legislação Sobre a Microgeração e Minigeração de Energia Elétrica Interligada a Rede.

Existe basicamente três principais normas que estabelecem critérios para a micro e mini geração interligada a rede.

No âmbito da união tem a resolução normativa nº 482 de 2012, alterada pela resolução normativa nº 687 de 2015, da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). A norma estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação. Define como microgeração a central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 KW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada. E define como minigeração a central geradora com potência instalada superior a 75 KW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada ou para demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição.

Baseada na resolução da ANEEL, a ENERGISA criou a NTD-18 e NTD-19. A primeira tem por objetivo estabelecer o critérios que devem ser atendidos para o acesso e conexão em baixa tensão, com potencia instalada de até 75kW. A

segunda tem estabelece os critérios para acesso e conexão em média tensão, com potência instalada superior a 75kW e até 1000kW, à rede de distribuição da Energisa por meio de unidades consumidoras em edificações individuais.

6. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS.

A fazenda onde vai ser feita a implantação do projeto é a “fazenda Bom Jesus” localizada no município de Sítio Novo do Tocantins, distante mais de 600 quilômetros da capital, Palmas - TO, numa região conhecida como “Estiva”.

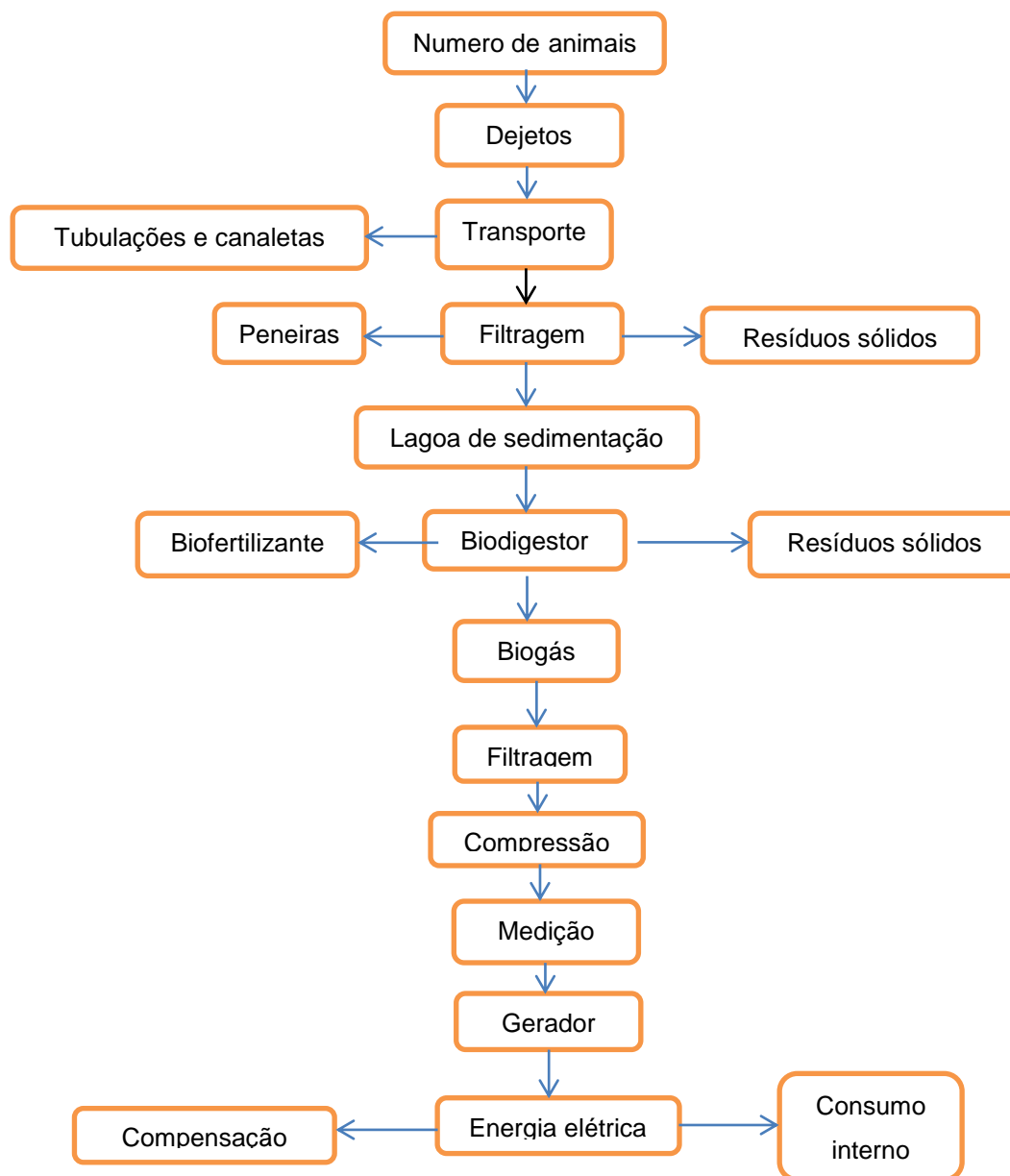
Prati (2010, p. 38) cita que para a correta análise da viabilidade econômica de implantação do sistema faz-se necessário definir algumas questões fundamental importância, são elas:

- quantidade de suínos que a serem criados na granja quando a mesma estiver em pleno funcionamento, determinando a quantidade de porcas reprodutoras, a produção de suínos e a quantidade de porcos no sistema de engorda;
- a produção de dejetos diária de cada subgrupo de animais criados na granja, além disso, uma análise, como já descrito, para a melhoria da qualidade dos dejetos de forma a obter um melhor aproveitamento e também a forma como serão coletados esses dejetos para o biodigestor;
- o modelo de biodigestor a ser implantado e o seu correto dimensionamento que melhor se adequa a quantidade dejetos produzidos, além disso, o custo para a construção do modelo;
- determinação da quantidade de biogás que será produzido diariamente e conseqüentemente uma mensal e anual e também uma análise para o melhor aproveitamento desse gás;
- sistema de filtragem a ser utilizado, caso necessário;
- sistema de conversão a ser implantado e o valor gasto com a obtenção e manutenção das máquinas;
- gastos atuais e uma média dos gastos futuros com eletricidade da fazenda quando a granja estiver em funcionamento;
- quantidade de energia elétrica gerada a partir do biogás produzido;
- destino da energia elétrica produzida.

Para exemplificar melhor todo processo de produção do sistema, a seguir, na Figura 16, é apresentado um fluxograma onde mostra cada etapa do

processo em uma planta para geração de energia elétrica, a partir dos dejetos gerados numa granja.

Figura 16 - Fluxograma de uma planta de produção de energia elétrica a partir do biogás



Fonte: Adaptado PRATI, 2010.

6.1. Quantidade de suínos a serem criados

A primeira informação que deve se ter em mãos é a número de suínos que compõem a granja. Segundo informações obtidas junto ao proprietário da

fazenda, o objetivo da granja é contar com 90 matrizes em ciclo completo o que vai corresponder a um total aproximado de 1013 animais compondo a granja.

O ciclo completo corresponde a um sistema onde começa desde a aquisição de matrizes, passando pelas fases de gestação, lactação, creche e a fase de engorda/terminação.

6.2. Produção de dejetos na granja

A quantidade dejetos produzidos por suíno em determinada fase do processo é de fundamental importância para calcular do total de biogás e a quantidade de biofertilizante que será produzido (DARTORA; PERDOMO; TUMELERO, 1998, p. 6).

As quantidades de fezes e urina são afetadas por fatores zootécnicos (tamanho, raça, idade e atividade), ambientais (temperatura e umidade) e dietéticos (digestibilidade, conteúdo da fibra e proteína), (DARTORA; PERDOMO; TUMELERO, 1998, p. 6).

A Tabela 4, na página seguinte, apresenta uma média da produção diária de dejetos de acordo com cada categoria de animais. Na tabela é mostrada a quantidade de esterco e também esterco misturado com a urina em quilogramas por dia, o total de dejetos líquidos por dia e também o total da produção de substrato líquido em m³, por animal, em período mensal.

A partir de uma consulta feita à EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), para o correto dimensionamento da quantidade de dejetos produzidos pelos porcos é necessário estimar uma média da quantidade de animais que vão compor cada etapa do ciclo, ou seja, a quantidade de porcas em fase de gestação, em lactação com respectivos leitões, a composição da creche, os machos e os animais em fase de terminação (porcos de 25 a 100 kg).

Ainda segundo a Embrapa, para uma granja com um total de 90 matrizes no ciclo tem-se uma média aproximada de 23 porcas em fase de lactação, 65 em gestação, uma creche composta por quase 315 leitões e em fase de terminação em torno de 605 suínos. Isso considerando todos os fatores adversos, como por exemplo, morte prematura dos animais.

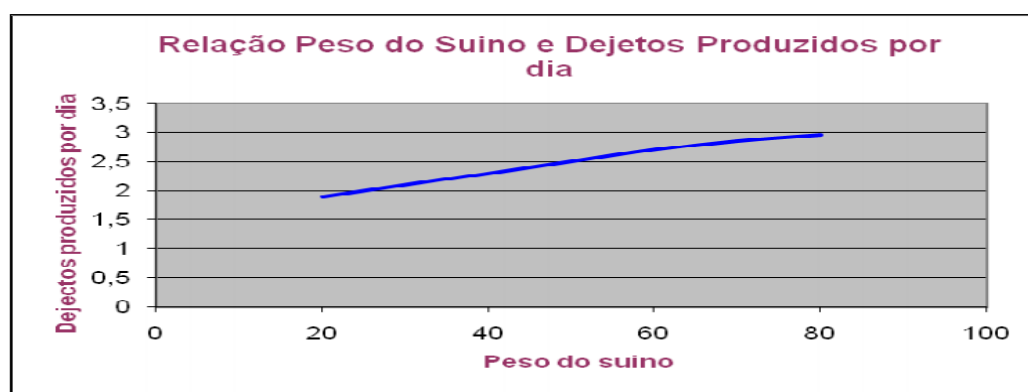
Tabela 4 - Produção diária de dejetos suínos

Categoria	Esterco (Kg/dia)	Esterco + urina (Kg/dia)	Dejetos líquidos (Litros/dia)	Dejetos líquidos (m³/animal/mês)
Suínos de 25 a 100 kg	2,30	4,90	7,00	0,25
Porcas em gestação	3,60	11,00	16,00	0,48
Macho	3,00	18,00	27,00	0,81
Porcas em lactação + Leitões	6,40	6,00	9,00	0,28
Leitões na creche	0,35	0,95	1,40	0,05
Média	2,35	5,80	8,60	0,27

Fonte: DIESEL; MIRANDA; PERDOMO, 2002.

A Figura 17 apresenta a relação do peso do suíno com a produção de dejetos.

Figura 17 - Relação peso do suíno e produção de dejetos por dia



Fonte: DONGALA, 2010.

Como pode ser observada na Figura 17, a relação peso do suíno/produção de dejetos é diretamente proporcional, ou seja, quanto maior o peso, maior é a produção de dejetos.

A Tabela 5 mostra a distribuição do rebanho da referida granja em cada fase e a quantidade de dejetos produzidos pelos os animais a partir das informações da Tabela 4.

Tabela 5 - Quantidade de dejetos líquido produzido em uma criação com 90 matrizes em ciclo completo de acordo com a composição do rebanho

Categoria	Nº de animais	Esterco (kg/dia)	Esterco + Urina (kg/dia)	Dejetos líquidos (Litros/dia)	Total de dejetos líquidos (m³/mês)
Suínos de 25 a 100 kg	605	1391,5	2964,5	4.235	151,25
Porcas em gestação	65	234	715	1040	31,2
Macho	5	15	30	135	4,05
Porcas em lactação + Leitões	23	147,2	414	207	6,44
Leitões na creche	315	110,25	299,25	441	15,75
Total	1.013	1898	4422,75	6.058	208,7

Fonte: AUTOR.

Para a obtenção de uma melhor eficiência do biodigestor deve-se fazer uma análise da composição dos dejetos produzidos, sendo que estes influenciam diretamente na produção de biogás.

Segundo Prati (2010, p. 41), uma forma de análise é a filtragem dos dejetos provenientes da granja, devido ao fato destes excrementos conterem inúmeros tipos de materiais que podem prejudicar a geração de biogás. Então para filtrar esses materiais indesejados é necessário a instalação de peneiras, sendo estas dimensionadas de acordo com a necessidade dos dejetos. Além disso, faz-se necessário a construção de uma lagoa de sedimentação, de forma que os dejetos providos permaneçam pelos um dia na lagoa, tempo suficiente para que os materiais de maior densidade, como a areia, restos metálicos e cimento devem sedimentar, evitando assim seu acúmulo no biodigestor.

Um ponto importante que também deve ser analisado é a forma de diluição dos dejetos, a fim de evitar o desperdício de água na limpeza das baias (fator de fundamental importância). É também importante observar os vazamentos dos bebedouros, além da entrada de água da chuva nos sistemas de manejo. Prati (2010, p. 41), cita que o grau de diluição pode ser determinado pela observação da Matéria Seca (MS) ou Sólidos Totais (ST) presentes nos dejetos, sendo que os Sólidos Voláteis (SV), que são os substratos para as bactérias metanogênicas, representam entre 70% e 75% dos sólidos totais. Os Sólidos voláteis são responsáveis pela geração de biogás.

6.3. Dimensionamento do modelo de biodigestor a ser implantado

Segundo Junqueira (2014, p. 17), para a escolha da localização de um biodigestor é necessário observar alguns fatores, como por exemplo: facilidade de transporte de biomassa a ser carregada diariamente, facilidade de remoção e transporte para a utilização do biofertilizante produzido e a distância para utilização do biogás.

Outros fatores que devem ser observados durante o dimensionamento do equipamento, é que este não pode ficar em um local de difícil acesso e nem muito distante, pois isso acarretaria uma grande dificuldade de operação do mesmo. Além disso, deve-se ter a preocupação de manter o sistema de geração a uma distância segura do biodigestor.

A escolha do biodigestor a ser implantado se deve principalmente ao fluxo de dejetos fornecidos pela fonte produtora. Para utilização do biogás gerado pelo biodigestor como fonte de energia para geração de eletricidade será

necessário um fluxo diário de biogás capaz para tornar a geração possível (PRATI, 2010, p. 42).

Nesse sentido o modelo canadense (de produção contínua) se torna o mais indicado para tipo de produção que será implantado na granja, além disso, o clima da região (com temperaturas elevadas) favorece este tipo de biodigestor, uma vez que temperaturas maiores aceleram o processo de fermentação da massa e conseqüente aumento da produção de biogás, como será observado em capítulo próprio, e também, outro fator que prevalece na escolha do mesmo é o seu custo de implantação, manutenção e a sua durabilidade.

No modelo canadense, por ser constituído basicamente por mantas plásticas, o biogás possui pouca pressão e por isso pode ser transportado por no máximo 50 metros. Porém, é recomendado que o biodigestor seja instalado a pelo menos 10 metros de quaisquer edificações (JUNQUEIRA, p. 17-18 2014).

Segundo Pereira (2009, p. 42), para correto dimensionamento do equipamento de biodigestão é necessário observar que existem vários modelos de biodigestores. Os mais simples possuem um único estágio, a saber: alimentação contínua e sem agitação. Nesse caso se inclui o modelo canadense que será adotado no projeto, como já especificado no parágrafo anterior.

Ainda segundo Pereira (2009, p. 42), um método prático para estimar o tamanho do biodigestor será calculado pelo produto da carga diária e o tempo de retenção¹, conforme a equação 1.

$$VB = VC \times TRH \quad (1)$$

Onde:

VB - Volume do Biodigestor (m³);

VC - Volume da Carga Diária (dejetos + água) (m³/dia);

TRH - Tempo de Retenção Hidráulica (dias).

Segundo Dongala (2010, p. 92), o tempo de retenção hidráulica pode variar dependendo da finalidade a que se destina o projeto. Assim pode-se variar de 10 a 20 dias para produção de biogás, de 50 a 60 dias para produção de

¹ Tempo para que os dejetos sejam fermentados dentro da câmara de biodigestão.

biofertilizante e de 22 a 30 dias para a produção de biogás e biofertilizante, o terceiro é atualmente os mais utilizado no Brasil.

Considerando-se os dados da Tabela 4, a referida granja que será implantada vai ter uma produção diária de dejetos de 7m³, nesse caso foi considerado um mês com 30 dias para a conversão Mês/Dia. E apesar do clima da região ser quente, vai ser considerado um Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) de num ciclo de valor máximo, ou seja, 30 dias, conforme mostrado anteriormente.

A partir da obtenção da carga diária de dejetos e considerando o TRH acima citado é possível aplicar a fórmula e encontrar o volume do biodigestor que pode atender a produção da granja.

Então:

$$VB = 7 \times 30 \Rightarrow VB = 210 \text{ m}^3$$

Com isso, o biodigestor que melhor se adequa a produção de dejetos da granja é de 210 m³.

Outro ponto importante a determinar é a lagoa de sedimentação para receber os dejetos vindos do biodigestor, onde serão utilizados como fertilizantes, ou o próprio descarte feito de forma adequada. Dongala (2010, p. 92), cita que o dimensionamento da lagoa segue a mesma fórmula apontada acima, ou seja, o projeto deverá contar com uma lagoa também de 210m³.

Segundo consulta feita a uma empresa BSG Equipamentos, especializada na construção de biodigestores, um biodigestor de 210 m³ sai em torno de R\$26.000. Ainda segundo a empresa para fazer um orçamento detalhado seria necessário contratar uma consultoria da empresa, nesse caso acrescenta-se R\$ 3.000 da visita de um engenheiro ao local, além de gastos com viagem, hospedagem e alimentação do mesmo.

Outro ponto importante a ser destacado na instalação do biodigestor diz respeito ao transporte dos dejetos ao digestor. E nesse sentido, como na maioria das granjas que tem este tipo de projeto implantado, serão construídos canais interligados às baias, de modo que após a lavagem da granja todos os excrementos sejam transportados para o biodigestor através desses canais.

6.4. Produção de biogás

A produção de biogás depende basicamente da fonte de matéria prima e da quantidade de animais da granja. Para os suínos, os dejetos de cada fase de desenvolvimento do animal são responsáveis por determinada produção de biogás (FLORES, 2014, p. 18).

Segundo Oliveira (2009, p. 23) na produção do gás é preciso ter uma atenção a uma serie de fatores que podem afetar o processo de digestão anaeróbia e conseqüentemente uma boa produção de biogás. Estes fatores estão diretamente relacionados com o substrato, com as características do digestor ou com as condições de operação, entre os principais encontra-se: Quantidade de matéria seca, concentração de nutrientes, o pH no interior do biodigestor, temperatura interna no digestor e o tempo de retenção hidráulica, como já mencionado anteriormente.

Outro fator importante que se deve levar em conta é o cuidado com substâncias tóxicas, como desinfetantes fortes, bactericidas, combustíveis derivados do petróleo entre outros elementos que possam contaminar o substrato e ser fatal para as bactérias envolvidas no processo de formação do gás. Por isso, como já mencionado, é necessário um processo de filtragem dos dejetos antes de introduzi-los no biodigestor (OLIVEIRA, 2009, p. 24).

Segundo Farret (2010) *apud* Johann (2012, p. 32), a produção de biogás é dada pela equação 2 apresentada abaixo.

$$T_{\text{gás}} = m_{\text{dejetos/dia}} \times f_{\text{produção/animal}} \quad (2)$$

Onde:

T = total de gás produzido (m³/dia)

m = Massa de produzidos pelos animais (Kg)

f = quantidade de gás gerado por 1 Kg de dejetos para cada animal (m³).

A Tabela 6 apresenta a quantidade de biogás produzido por um kg de dejetos² para alguns animais. Como pode ser observado, os dejetos produzidos pelos suínos apresentam uma alta concentração de gás, ficando atrás somente dos ovinos.

² Estes dejetos são compostos pelo esterco e a urina dos animais.

Tabela 6 - Relação quantidade de biogás (m³)/dejetos (Kg)

Animal	m³ de gás/Kg de dejetos
Aves	0.055
Bovinos	0.040
Equinos	0.048
Ovinos	0.070
Suínos	0.064

Fonte: Adaptado JOHANN, 2012.

A partir das informações das Tabelas 5 e 6 é possível determinar a quantidade de biogás que será gerado no projeto. Aplicando a equação 2 tem-se:

$$T_{\text{gás}} = 4422,75 \times 0.064$$

$$T_{\text{gás}} = 283,056 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Então o total de gás que será produzido por dia pelo biodigestor é de 283,056m³.

.Além de calcular a quantidade de biogás produzido, outro fator de fundamental importância é a análise desse biogás gerado. Segundo Prati (2010, 41), a partir desta análise será possível verificar que tipo de filtro melhor se adequa ao projeto de geração de biogás. Mas como já citado anteriormente, sabe-se que essa filtragem é necessária, pois, além de obter um melhor rendimento do gás e conseqüentemente há uma maior produção de energia, preserva-se a vida útil do gerador, devido ao poder de corrosão de algumas substâncias existentes no biogás, diminuindo os gastos com manutenção do sistema.

Então, como forma de facilitar a análise das características do biogás, a Embrapa suínos e aves em conjunto com a empresa AlfaKit desenvolveram um kit para melhorar a tomada de decisão com relação a qualidade e análise do gás. De acordo com a empresa, a proposta do kit é ser uma ferramenta de apoio ao usuário do biogás para que este possa conhecer a qualidade de seu biogás e através dos dados analisados, interferir nas diversas fases da geração do biogás de modo a melhorar a eficiência de todo o processo, tanto de produção quanto de purificação do mesmo. É um kit onde se pode analisar as principais substâncias presentes no biogás e respectivo percentual. Essa análise é de fundamental importância para definir qual sistema de filtragem deve ser usado.

A Figura 18 apresenta o kit biogás, como é mais conhecido o kit para análise do biogás.

Figura 18 - Kit biogás



Fonte: ALFAKIT, 2016.

Segue abaixo a descrição do produto retirada do site da empresa Alfakit:

Kit desenvolvido em parceria com a empresa EMBRAPA SUINOS E AVES, kit este que ajudará os agricultores a conhecerem a qualidade gerada nas propriedades rurais.

O kit permite analisar de forma simples e rápida a composição dos gases do biogás. Para a análise da amônia e gás sulfúrico, a técnica consiste em borbulhar o biogás em uma solução analisando colorimetricamente em seguida. Para análise do metano e do gás carbônico, o biogás também é borbuhlado em uma solução, porém a concentração é dada pela diferença entre o volume de gás inicial e final. É recomendado para analisar a eficiência dos biodigestores quanto a produção de gás metano (calor, energia e créditos de carbono), de gás sulfúrico (responsável pela corrosão dos equipamentos) e de amônia (poluição do ar). Diagnóstico em aproximadamente em 30 minutos.

A figura 19 apresenta um modelo de resultado para a amônia e gás sulfúrico pelo método colorimétrico.

Figura 19 - Amostra de resultado para a amônia e gás sulfúrico



Fonte: ALFAKIT, 2016.

Segundo a AlfaKit, o preço do kit biogás é de R\$1.011,15.

6.5. Sistema de Filtragem

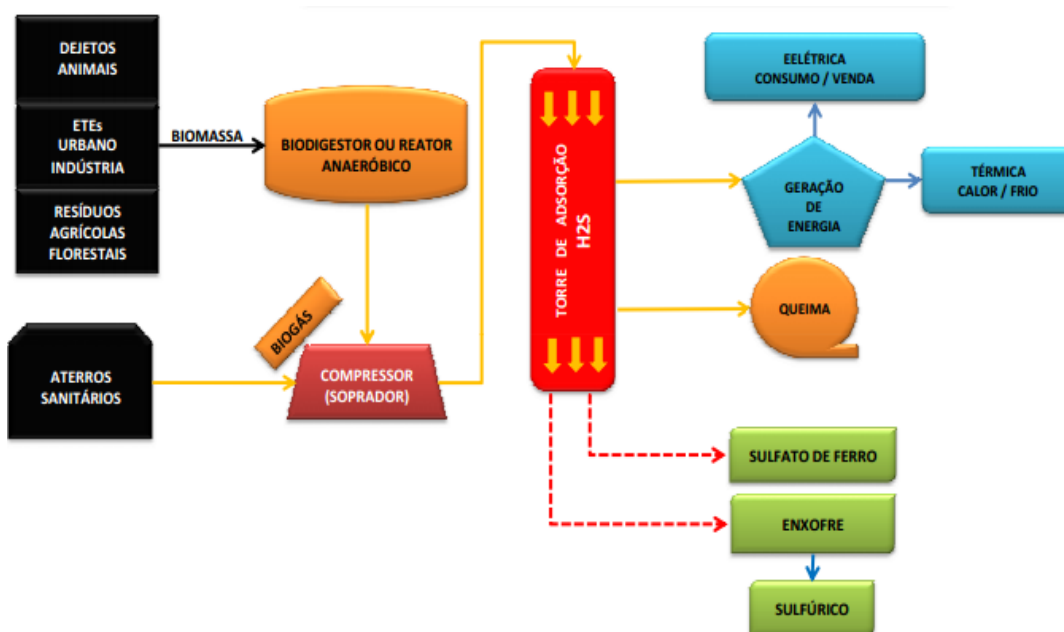
Como dito anteriormente, a purificação do biogás consiste basicamente na secagem (remoção da água), separação do Dióxido de Carbono (CO₂), e remoção do Sulfeto de Hidrogênio (H₂S), substância com um grande poder de corrosão. É de fundamental importância que deve ser implantando antes da inserção do biogás no conjunto gerador. Como dito no tópico anterior, conhecer a porcentagem do H₂S e CO₂ presente no biogás é de fundamental importância para se determinar qual sistema de filtragem será implantado.

Atualmente, os filtros para biogás pode ser adquirido isoladamente, mas a maioria das empresas fornecedoras de geradores já inclui junto o próprio sistema de filtragem que melhor se adequa aos geradores, como é caso da empresa que indicou o gerador que melhor se adéqua à planta.

Para o projeto em questão o sistema de filtragem utilizado será adquirido junto a empresa fornecedora do grupo gerador.

A Figura 20 apresenta o princípio de funcionamento do sistema de filtragem fornecido pela empresa ER-BR. É um sistema que apresenta Três modelos distintos, que depende da quantidade de gás fornecido pela fonte produtora e que se adequa a qualquer tipo de produção.

Figura 20 - Sistema de filtragem



Fonte: ER-BR, 2016.

6.6. Sistema de Conversão

Devido ao já apresentado no item 6.3.6, optou-se pela utilização do sistema ciclo diesel e isso se deu em razão da sua robustez, menor gasto com manutenção e também pela facilidade de encontrar no mercado grupos geradores totalmente já adaptados para o biogás, sem necessidade de nenhuma outra modificação.

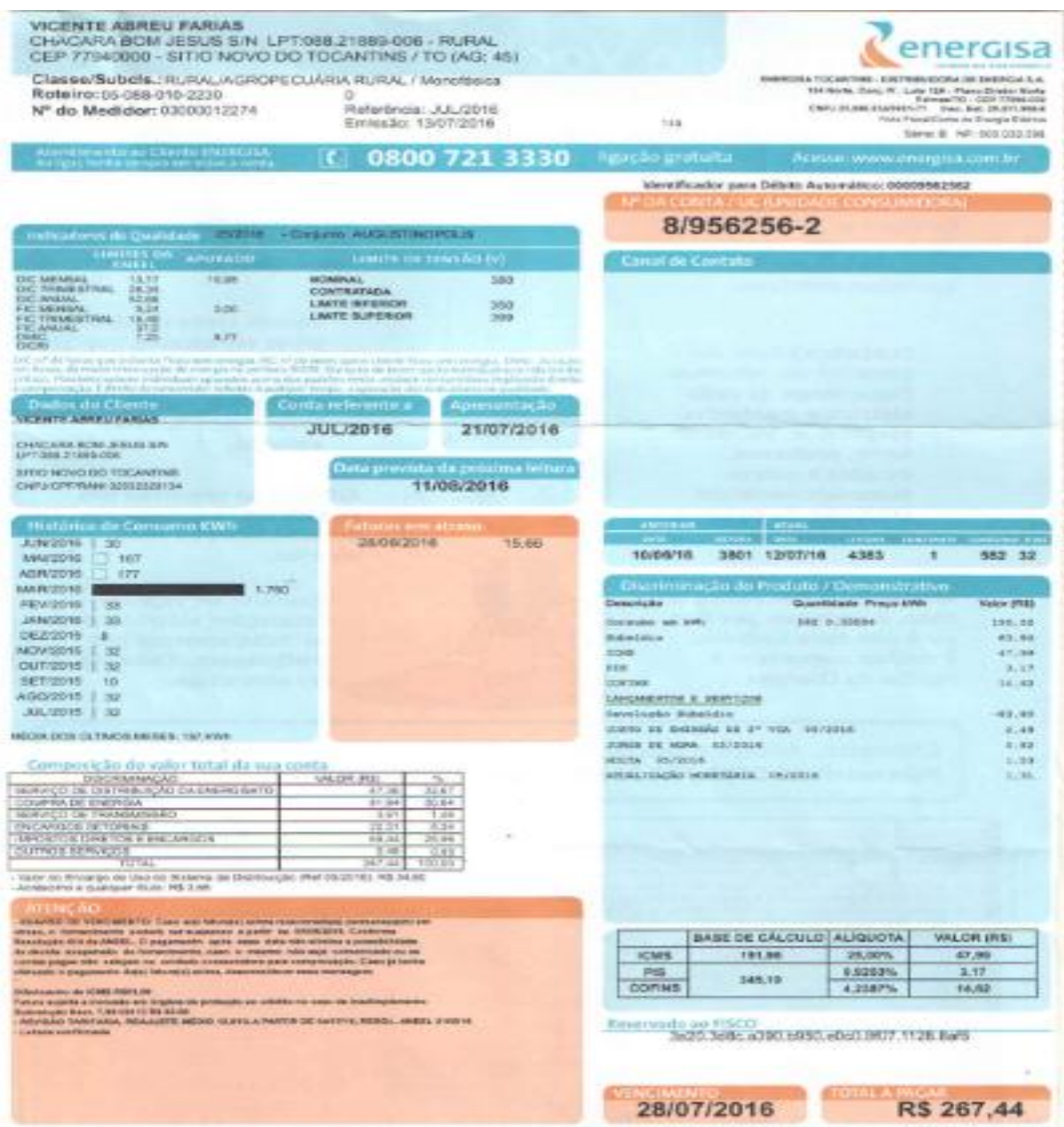
Em consulta feita a empresas especializadas, hoje o principal sistema de conversão é o sistema ciclo diesel e isso se deve principalmente às características já apresentadas anteriormente, e pelo fato de encontrar grupo-geradores totalmente adaptados ao biogás.

6.7. Gastos atuais e estimativa de gastos com eletricidade da fazenda quando a granja estiver em funcionamento.

Em uma das visitas feita à fazenda, foi feita uma análise dos gastos atuais com energia elétrica, em qual categoria de consumidor inclui a fazenda e quais equipamentos elétricos existem atualmente na propriedade.

A Figura 21 apresenta o extrato da conta de energia da fazenda, mostrando o seu consumo médio com eletricidade e conseqüentemente os gastos com os mesmos e em qual categoria de consumidor se encontra.

Figura 21 - Conta de energia da fazenda



Fonte: AUTOR.

Além dos gastos atuais com eletricidade, outro fator de grande importância para a análise de viabilidade do projeto é estipular os gastos futuros com eletricidade quando a granja estiver em funcionamento. Como a granja ainda não está em funcionamento, foi necessário então saber a média do consumo de energia elétrica por animal suína no sistema de ciclo completo.

Nesse sentido, Talamini, et al. (2006, p. 72) cita que o consumo mensal de energia elétrica de uma granja suína é estimado em 150 kwh por matriz alojada. Esse consumo corresponde ao total de equipamentos necessários numa granja, como por exemplo, lâmpadas para aquecimento dos leitões, utilização de máquinas

de ração, sistema de ventilação e também iluminação das demais instalações, além de outras atividades específicas.

A partir das informações obtidas e considerando o total de animais a serem criados na granja é possível estipular uma média de consumo com eletricidade. Além disso, a partir do consumo futuro da granja e considerando o valor do kWh no Tocantins, também é possível estipular uma média dos gastos com eletricidade da fazenda no geral.

Considerando então a quantidade de matrizes da granja, que é de 90, o consumo da granja seria de 13.500kWh/mês, uma média de 450kWh/dia considerando o mês com trinta dias. Para determinar os valores que serão gastos com energia elétrica é necessário saber o valor do kWh aplicado no Estado do Tocantins. A Figura 22 apresenta a tabela, retirado do site da Energisa, com os valores do kWh para cada tipo de consumidor.

Figura 22 - Valores do kWh

MODALIDADE TARIFÁRIA CONVENCIONAL - BAIXA TENSÃO		
MODALIDADE TARIFÁRIA CONVENCIONAL - BAIXA TENSÃO		TUSD + TE
TARIFA	CLASSES	CONSUMO (RS/KWH)
B1	RESIDENCIAL SEM BENEFÍCIO	0,52574
	RESIDENCIAL BR - CONSUMO ATÉ 30 KWH	0,18119
	RESIDENCIAL BR - CONSUMO DE 31 A 100 KWH	0,31061
	RESIDENCIAL BR - CONSUMO DE 101 A 220 KWH	0,46592
	RESIDENCIAL BR - CONSUMO ACIMA DE 220 KWH	0,51769
B2	RURAL	0,36802
	RURAL IRRIGAÇÃO	0,12145
	COOPERATIVA DE ELETRIF. RURAL	0,36802
	SERVIÇO DE IRRIGAÇÃO	0,31545

Fonte: ENERGISA, 2016.

Considerando que a fazenda se enquadra no tipo B2 e na classe rural, os gastos de energia elétrica seriam de em torno de R\$4860,00 por mês. Sobre esse valor ainda deve ser incluindo os impostos embutidos na conta. Incluindo os

encargos o custo com eletricidade aumentaria para R\$6.524,55 isso somente para manter a granja, quanto acrescenta o consumo das demais instalações da fazenda estes valores são em média de R\$6.647,74. A Tabela 7 apresenta os impostos que podem estar embutidos na fatura de energia elétrica.

Tabela 7 - Impostos embutidos na conta de energia elétrica

Impostos		Percentual (%)
Federal	Programa de Integração Social (PIS)	1,65
	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS)	7,6
Estadual	Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS).	25
Municipal	Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública (CIP).	-

6.8. Produção de energia elétrica

A partir da determinação da quantidade de biogás produzido foi possível estimar o total de energia elétrica que será produzido.

Como foi observado, alguns autores apresentam valores diferentes para a equivalência de 1m³ biogás em relação à eletricidade. Coldebella, (2006, p. 13) cita que em condições normais o poder calorífico do biogás pode variar entre 4,95 a 7,92 kWh e que em purificado pode chegar até a 9,9kWh, já Santos, (2000) diz que um 1m³ de biogás equivale a 6,5kWh, como se observa na tabela 2.

Para o projeto em questão, como ainda não existe um biodigestor implantado e conseqüentemente não poder fazer uma análise do biogás produzido, optou-se pela relação m³/kWh por Coldebella (2006, p. 13), ou seja, 4,95kWh/m³, apesar de esse valor poder ser elevado devido à purificação do biogás. Então, teoricamente, uma produção de 283,056m³/dia equivale a 1.401,12 kWh, mas a produção real de eletricidade vai depender do gerador a ser instalado e conseqüentemente do seu consumo de gás e da porcentagem de CH₄ presente no biogás. No projeto em questão, como não se tem ainda a produção de biogás, foi

determinada a composição do biogás em torno de 60% de metano, ou seja, aproximadamente 5000Kcal.

A partir da determinação da quantidade de biogás produzido e a estimativa de consumo de energia elétrica da planta, é possível determinar qual gerador melhor se adequa a projeto em questão.

Depois de obter as informações necessárias, foi feita uma pesquisa para saber qual melhor gerador se adequa a produção de biogás e ao consumo de energia elétrica da granja. A Figura 23 apresenta uma tabela, disponibilizada no site da empresa ER-BR Energias Renováveis, com os grupos geradores disponíveis e com todas as informações técnicas das máquinas, como por exemplo: características elétricas, mecânicas e consumo de combustível as características do gerador.

Figura 23 - Modelos de geradores ER-BR

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS						
Grupo Gerador	Emergência		Principal		Contínuo 24Hs	
	kVA	kW	kVA	kW	kVA	kW
GMWM30	30	24	27	22	25	20
GMWM50	50	40	45	36	40	32
GMWM80	80	64	72	58	68	55
GMWM120	120	96	108	87	96	77
GSCA250	250	200	225	180	200	160
GSCA330	330	264	300	240	264	211
GSCA420	420	336	380	300	325	260

Tensão: (127V/220V) (220V/380V) (257/480V) - 60 Hz/ 50 Hz
 Alternador - WEG: Normas NBR / IEC / NEMA /SSO/ CSA - Proteção Ip-21 / 23 - Classe F / H

- Estas potências permitem uma operação segura (definidas com a utilização de dinamômetro e banco de cargas).
- Emergência: Falta momentânea de energia na rede elétrica.
- Principal (horário de Ponta): 3 horas contínuas de funcionamento
- Contínuo: 24 horas / 7 dias por semana com carga variável ou em BASE LOAD (carga constante)

CARACTERÍSTICAS DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL - REGIME CONTÍNUO					
Grupo Gerador	Biogás % CH4	ESTIMATIVA de consumo de GAS com 100% de carga (Kcal/Nm ³)			
		Bioaás 5000 Kcal	Bioaás 6500 Kcal	Natural 9000 Kcal	Syngas 4500 Kcal
GMWM30	> 55%	13 Nm ³ /hr	7 Nm ³ /hr	5 Nm ³ /hr	11 Nm ³ /hr
GMWM50	> 55%	25 Nm ³ /hr	10 Nm ³ /hr	8 Nm ³ /hr	17 Nm ³ /hr
GMWM80	> 55%	41 Nm ³ /hr	22 Nm ³ /hr	17 Nm ³ /hr	37 Nm ³ /hr
GMWM120	> 55%	56 Nm ³ /hr	39 Nm ³ /hr	30 Nm ³ /hr	66 Nm ³ /hr
GSCA250	> 55%	100 Nm ³ /hr	69 Nm ³ /hr	50 Nm ³ /hr	120 Nm ³ /hr
GSCA330	> 55%	108 Nm ³ /hr	75 Nm ³ /hr	58 Nm ³ /hr	129 Nm ³ /hr
GSCA420	> 55%	118 Nm ³ /hr	83 Nm ³ /hr	64 Nm ³ /hr	146 Nm ³ /hr

- Biogás % CH4 (metano): percentual mínimo de metano aceitável para não ocorrer perda de potência do motor
- Biogás com 5000 Kcal/Nm³ possui uma concentração de aproximadamente 60% de CH4 (metano)
- Biogás com 6500 Kcal/Nm³ possui uma concentração de aproximadamente 75% de CH4 (metano)
- Syngas (gás de síntese): Poder calorífico (Kcal/Nm³) depende dos Resíduos e do Processo de Gaseificação utilizado
- Consumo de gás: quanto maior o PCI (poder calorífico inferior) Kcal/Nm³, menor será o consumo de gás

CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS						
Grupo Gerador	MOTOR		DIMENSOES		Gases de Escapeamento	
	Marca	Modelo	A X L X C (mm)	PESO (kg)	Vazão Lts/min	Temp. °C
GMWM30	MWM	D229 3C/6V	1350 X 850 X 1850	570	162,000	526 °C
GMWM50	MWM	D229 4C/8V	1400 X 880 X 2060	640	226,000	589 °C
GMWM80	MWM	4.12 T 4C/8V	1500 X 860 X 2165	950	322,000	652 °C
GMWM120	MWM	6.12 T 6C/12V	1500 X 960 X 2550	1150	418,000	654 °C
GSCA250	SCANIA	QC13 6C/24V	2900 X 1150 X 3200	2450	839,000	653 °C
GSCA330	SCANIA	QC13 6C/24V	2900 X 1150 X 3200	2450	1,020,000	688 °C
GSCA420	SCANIA	QC13 6C/24V	2900 X 1150 X 3200	2700	1,172,000	670 °C

Peso: total com óleo lubrificante sem água no radiador

Fonte: ER-BR Energias Renováveis, 2016.

A Figura 23 apresenta as características dos geradores, como por exemplo, potencial de geração de energia elétrica e consumo de biogás por hora considerando porcentagem de metano em torno de 60% e 75%, ou seja, 5000Kcal 6500Kca respectivamente, conforme mostrado na Figura 10 a relação entre o

poder calorífico e a concentração de metano, além das características mecânicas como: peso, dimensões, marca, entre outras.

A Figura 24 apresenta as características gerais do alternador WEG.

Figura 24 - Características Alternador WEG

ALTERNADOR WEG - CARACTERÍSTICAS GERAIS	
Acoplamento	Rígido com Flange
Rotação	1800 (excessiva = 2250)
Fator de Potência	0,8
Número de Pólos	4
Proteção / Isolação	Ip-21 ou Ip-23 / classe "F" ou "H"
Excitação	Eletrônico Brushless
Sistema de Ligação	Estrela com Neutro Acessível (trifásico)
Distorção Harmônica	abaixo de 4%
Sobrecarga Admitida	10% durante 1 hr a cada 12 hr de funcionamento
Refrigeração	Ventilador centrífugo montado no próprio eixo
Normas Técnicas	NBR 5117 e 5052 / IEC / NEMA / ISSO / CSA

Fonte: ER-BR ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2016.

A partir das informações obtidas, como a quantidade de biogás produzido e consumo da granja, foram indicados dois modelos de geradores que mais se adequam à produção de biogás da planta e ao consumo de energia da fazenda. As Tabelas 8 e 9 apresentam as características destes geradores. A Tabela 8 mostra o consumo de gás dos modelos indicados para um percentual de metano em torno de 65% e 75% respectivamente e a capacidade de geração de energia por hora, além dos custos com peças e manutenção da máquina. A Tabela 9 apresenta a quantidade de energia gerada por determinado horário dos modelos disponibilizados de acordo com a capacidade de produção de biogás e a concentração de metano presente.

Tabela 8 - Consumo de biogás.

Modelo	Contínuo		Consumo		Custos peças/manutenção
	KVA	KW/H	(Nm ³ /h)		
			5000Kcal	6500Kcal	
GMWM 30	25	20	13	7	2,2% do investimento ao ano
GMWM 50	40	30	25	10	

Fonte: AUTOR.

Tabela 9 - Potencial de geração de energia

Produção de biogás: 283,056m³/dia		
Autonomia em horas diárias de geração		
Potências em regime contínuo	Autonomia 60% CH₄ Energia gerada	Autonomia de 75% CH₄ Energia gerada
25KVA / 20KW	21 horas/ 420 kWh	24 horas/ 480 kWh
40KVA / 32KW	11 horas/ 352 kWh	24 horas/ 768 kWh

Fonte: AUTOR.

Baseado no consumo de energia elétrica da fazenda e o volume de gás disponível diariamente, nota-se que os dois modelos apresentados são capazes de produzir uma quantidade considerável de eletricidade e dependendo da concentração de metano, produzir toda a energia para atender todo o consumo da granja. Pelo fato de não saber a concentração de metano presente no biogás gerado, foi considerado no projeto em questão um biogás de baixa qualidade, ou seja, com uma porcentagem entre 55 e 60% de CH₄, ou seja, 5000Kcal, que vai ter um consumo de gás muito maior para produzir a mesma quantidade de energia elétrica.

De acordo com a Tabela 9, o gerador GMWM 30 trabalhando por 21 horas por dia é capaz de gerar 12.600kWh de energia, já o modelo GMWM 50 é capaz de gerar 10.560 kWh, isso trabalhando 11 horas por dia. Pelas características já apresentadas, conclui-se que a máquina mais indicada para a planta é o modelo GMWM 30. E essa escolha se deve ao fato de o gerador, em relação ao consumo de biogás apresentado na Tabela 8, produzir uma maior quantidade de energia elétrica mesmo operando por mais tempo, além disso, o preço é outro atrativo quando comparado com o modelo GMWM 50, já que o gerador escolhido é aproximadamente 37% mais barato que o GMWM 50.

O total de energia produzido pela planta corresponde um percentual de aproximadamente 93% de toda a energia consumida mensalmente na fazenda, esta produção de energia elétrica corresponderia num rendimento de R\$4.536,00 equivalente a 70% dos gastos com eletricidade. A Tabela 10 apresenta o detalhamento do gerador.

Tabela 10 - Detalhamento do grupo gerador

Modelo	Consumo (Nm³/h)	Produção mensal de energia (kWh)	Investimento necessário³	Média de vida útil
GMWM TRI 30	13	12.600	R\$ 61.800,00	7 anos

Fonte: AUTOR.

Como a empresa não informou os custos, Johann (2012, p. 42), cita que os gastos com manutenções periódicas no gerador são estimados em 2,2% do investimento total ao ano, conforme descrito na Tabela 8.

6.9. Destinação da energia produzida

A destinação da energia elétrica gerada na planta é de fundamental importância, pois com este dado é possível se fazer uma avaliação mais precisa das receitas, economia e custos fornecidos pelo projeto.

Segundo Prati (2010, p. 47), a venda ou compensação de energia elétrica para a concessionária de energia pode elevar os custos do projeto, pois essa medida requer a instalação de equipamentos de proteção e sincronismo entre a rede da concessionária e o grupo gerador, podendo torna economicamente inviável o projeto.

A ideia do projeto é que toda energia produzida seja destinada ao consumo interno, ou seja, na própria fazenda e esta parece ser a melhor opção para a energia elétrica gerada. Caso o projeto se mostre viável e devido ao fato de a energia elétrica produzida não atender toda a demanda da fazenda, como mostrado na Tabela 10, será instalado um tipo de sistema interligado a rede, onde após o consumo da energia produzida na planta, as instalações da fazenda possam ser alimentadas pela rede da concessionária local.

³ O valor do investimento já inclui todo o sistema de filtragem e toda instalação do gerador

7. AVALIAÇÃO DOS RISCOS ATRELADOS AO PROJETO

Assim como todo empreendimento, a geração de energia elétrica a partir do biogás apresenta também alguns riscos. Prati (2010, p. 49) cita alguns desses riscos apresentados logo abaixo.

- Licenciamento ambiental para a instalação e operação do biodigestor gasodutos e central geradora;
- Preços de equipamentos incompatíveis com os orçamentos dos projetos;
- Recursos financeiros insuficientes para o desenvolvimento global do projeto;
- Materiais, equipamentos e acessórios não disponíveis no mercado;
- Operação e manutenção dos equipamentos de forma inapropriada, levando o sucateamento de forma acelerada.

8. ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Para realizar um diagnóstico e prognóstico sobre o desempenho futuro de empreendimento faz-se necessário uma análise econômico-financeira do projeto para avaliar e interpretar as questões relativas à estabilidade, rentabilidade e lucratividade do empreendimento (VANOLLI, 2013, p. 52 *apud* BRAZ; ARAÚJO, 2013, p 117).

Segundo Braz; Araújo (2013, p. 117), para esse tipo de análise é necessário utilizar o Fluxo de Caixa (FC) e também as ferramentas econômico-financeira, como o *payback*, Valor Presente Líquido (VPL), Índice de Lucratividade (IL) e a Taxa Interna de Retorno (TRI), além dessas técnicas é necessário considerar a Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Essas ferramentas serão trabalhadas usando as funções do Excel. A seguir é apresentado um breve conceito sobre estes indicadores de viabilidade econômica.

8.1. Fluxo de Caixa (FC)

O fluxo de caixa é a base de todas as técnicas de análise de investimentos. Trata-se de uma representação gráfica de entradas e saídas de recursos monetários ao longo de um determinado período, ou seja, uma demonstração visual das receitas e despesas distribuídas pela linha do tempo (PRATI, 2010, p. 50). Esta ferramenta tem grande importância, pois facilita aos administradores tomarem decisões importantes de investimentos com base em uma visão futura dos recursos financeiros de uma empresa.

8.2. Payback

Payback é o período ou prazo de retorno do capital investido em determinado projeto, dados as condições propostas no fluxo de caixa, o qual se refere ao montante de caixa recebido e gasto durante um período de tempo definido (OLIVEIRA; PACHECO; SILVEIRA, 2011, p. 03).

O payback pode ser dividido em simples e descontado. O primeiro é o payback original, não leva em consideração a taxa de juros, já o segundo é definido como o tempo necessário para recuperar o investimento dos fluxos líquidos de caixa descontados, ou seja, os valores dos fluxos de caixa são tratados considerando a taxa mínima de atratividade. Leva em consideração o custo do capital, mostrando o tempo em que ocorrerá o ponto de equilíbrio depois dos custos do capital forem cobertos, sendo capital próprio ou de terceiros (OLIVEIRA; PACHECO; SILVEIRA, 2011, p. 03).

8.3. Valor Presente Líquido (VPL)

Corresponde ao valor presente dos resultados esperados, positivos e negativos, do fluxo de caixa, descontando-se à Taxa Mínima de Atratividade. Segundo especialistas em finanças, é o critério mais recomendado para decisão de investimento. Isto se dá devido ao fato do VPL considerar que o valor temporal do dinheiro não é influenciado por decisões menos qualificadas, além de utilizar todos os fluxos de caixas futuros gerado pelo projeto, refletindo toda a movimentação de caixa (OLIVEIRA; PACHECO; SILVEIRA, 2011, p. 03). Em outras palavras, o VPL indica o quanto um processo é viável durante sua vida útil, e é dado pela diferença entre o valor atual dos benefícios e dos custos. Caso o VPL seja positivo, significa dizer que o investimento inicial foi recuperado, e quanto maior o seu valor mais atrativo é o investimento.

8.4. Índice de Lucratividade (IL)

O método do índice de lucratividade é um método que considera a razão entre o valor atual líquido do investimento e o Valor Inicial do Investimento para uma dada taxa de juros. O projeto será recomendável sempre que o IL for superior a 1, dado que a expressão do numerador, fluxo de caixa somado ao valor residual do investimento, teria que ser maior que o valor do investimento inicial. Portanto,

quanto maior o índice mais atrativo será o investimento. Por outro lado, caso o IL seja menor que 1 o investimento deverá ser rejeitado.

8.5. Taxa interna de Retorno (TIR)

É a taxa de juros onde o valor presente de todos os fluxos de entrada é igual o valor presente de todos os fluxos de saída, ou seja, a TIR é a taxa que torna nulo o VPL de um investimento. A taxa interna de retorno deve ser comparada à taxa mínima de atratividade para verificar a rentabilidade do investimento. O projeto que apresenta um TIR maior que a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) é considerado atrativo, caso contrário o projeto é inviável. (PRATI, 2010, p. 52).

8.6. Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

É um custo de oportunidade de capital, que varia de investidor para investidor, representado sob a forma de taxa de juros onde se pode considerar um investimento atrativo quando este, no mínimo, render o equivalente a esta taxa de juros. Nesse sentido, cabe avaliar dois pontos: investir no projeto ou na TMA de outro investimento.

9. ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA APLICADO AO PROJETO

Para a análise dos investimentos e conseqüentemente a viabilidade do projeto é necessário conhecer todos os valores gastos para a implantação planta, grande parte destes valores, os principais, já foram descritos acima, além disso, tem-se gastos mensais com manutenção do gerador, funcionário e gasto com energia elétrica. A Tabela 11 apresenta os gastos iniciais relacionados a uma planta de geração de energia através de biodigestor.

Tabela 11 - Custos de implantação.

Instalações iniciais	Custos
Construção do biodigestor + consultoria	R\$ 30.000,00
Kit biogás	R\$ 1.012,00
*Grupo gerador e sistema de filtragem	R\$ 61.800,00
Total	R\$ 92.812,00

Fonte: Autor.

Além dos gastos com a implantação dos projetos, existem os gastos mensais que se deve levar em conta. A Tabela 12 apresenta todos esses custos.

Tabela 12 - Custos variáveis

Custos	Valor	
	Mensal	Anual
Energia elétrica	R\$6.524,55	R\$78.294,6
Manutenção do gerador	R\$271.92,00	R\$3.263,04
Funcionário	R\$ 1345,41	R\$ 16.144,92
Total	R\$ 8.814,96	R\$97.702,56

Fonte: Autor.

No projeto em questão, será feita uma análise superficial do empreendimento para termos a noção de viabilidade do projeto e conseqüentemente tempo de retorno do investimento. Para esta análise será utilizadas as ferramentas econômico-financeira conforme no tópico 8.

Como o proprietário não dispõe do valor necessário para o investimento será necessário recorrer a um financiamento junto a uma instituição financeira. Atualmente o governo disponibiliza diversas linhas de crédito para produtores rurais, tanto pessoa jurídica como pessoa física e entre essas linhas de crédito tem o FINAME e o INOVAGRO dentre outros. Além disso, esses programas são um meio de financiamento disponibilizado pela empresa fornecedora do grupo motor-gerador, com parcelamento em até dez anos.

A partir da obtenção do valo necessário para instalação da planta, foi feita uma simulação junto ao Banco do Brasil sobre o valor do investimento para pagamento da dívida em cinco anos. De acordo com a simulação feita, representada nas Figuras 25 e 26 na página seguinte, ao final do prazo determinado, o custo do investimento será de R\$120.660,08. E sobre este valor é que deverá ser feito os devidos cálculos de análise de investimentos.

Como o grupo gerador apresenta vida útil em média de 7 anos, optou-se por um tempo de amortização da dívida 6 anos e esse tempo é que deve ser usado para o Fluxo de caixa. Outro ponto que deve ser determinado é Taxa Mínima de Atratividade. Para a análise de viabilidade do projeto será adotada uma TMA de

14% ao ano de investimentos tidos como seguros, como por exemplo, o Tesouro Direto Selic e também a Letra de Crédito do Agronegócio (LCA).

Figura 25 - Critérios da simulação

Valor a financiar:	R\$ 93.000,00
Periodicidade para pagamento das parcelas:	Anual
Quantidade de parcelas:	6
Taxa de juros:	8,50% a.a.
IOF:	0,38%
Data da simulação:	25/11/2016

Fonte: BANCO DO BRASIL, 2016.

Figura 26 - Resultados da simulação

Resultado da Simulação					
Parcela	Data da Parcela	Juros	Capital	Prestação	Saldo Devedor
-	25.11.2016	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 353,40 *	R\$ 93.000,00
-	15.12.2016	R\$ 415,51	R\$ 0,00	R\$ 415,51	R\$ 93.000,00
1	15.12.2017	R\$ 7.882,51	R\$ 15.500,00	R\$ 23.382,51	R\$ 77.500,00
2	17.12.2018	R\$ 6.625,10	R\$ 15.500,00	R\$ 22.125,10	R\$ 62.000,00
3	16.12.2019	R\$ 5.254,97	R\$ 15.500,00	R\$ 20.754,97	R\$ 46.500,00
4	15.12.2020	R\$ 3.952,50	R\$ 15.500,00	R\$ 19.452,50	R\$ 31.000,00
5	15.12.2021	R\$ 2.627,50	R\$ 15.500,00	R\$ 18.127,50	R\$ 15.500,00
6	15.12.2022	R\$ 1.317,50	R\$ 15.500,00	R\$ 16.817,50	R\$ 0,00

Fonte: BANCO DO BRASIL, 2016.

Como já dito anteriormente, os indicadores de viabilidade econômica serão trabalhados usando as funções do Excel. A Figura 27 apresenta todo desenvolvimento das ferramentas de viabilidade econômico-financeira aplicadas ao referido projeto.

Neste estudo de viabilidade econômica, como pode ser observado na Figura 27, foi utilizado somente o valor do investimento inicial para implantação da planta. Os fluxos de caixa foram adotados a partir do abatimento das parcelas do financiamento feito, ou seja, é retorno que o projeto traz do valor obtido com a produção de energia via biogás e utilizado para os gastos mensais da propriedade.

Como as parcelas do financiamento são decrescentes esse retorno é maior ao longo do pagamento do empréstimo.

Figura 27 - Desenvolvimento das ferramentas de viabilidade econômica

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	ANÁLISE ECONÔMICO - FINANCEIRA DO PROJETO												
2	Taxa Mínima de Atratividade (TMA)		14% a.a.		0,14								
3													
4	Payback Simples		Payback Descontado			Índice de Lucratividade			VPL		TRI		
5	3 anos e 8 meses		5 anos e 2 meses			1,090083305			R\$ 10.869,46		17%		
6	período		1	2	3	4	5	6					
7	Anual	Investimento	FC 1	FC 2	FC 3	FC 4	FC 5	FC 6					
8		-120.660,08	31.049,50	32.306,90	33.677,03	34.979,90	36.304,50	37.614,50					
9													
10	Payback Simples		-89.610,58	-57.303,68	-23.626,65	11.353,25	47.657,75	85.272,25					
11													
12													
13	VP	R\$ 131.529,54	R\$ 27.236,40	R\$ 24.859,11	R\$ 22.731,04	R\$ 20.710,91	R\$ 18.855,42	R\$ 17.136,66	VP = VF/(1+i) ⁿ IL = VP/10 VPL = VP - I0				
14													
15	Payback descontado		-R\$ 93.423,68	-R\$ 68.564,57	-R\$ 45.833,53	-R\$ 25.122,62	-R\$ 6.267,20	R\$ 10.869,46					
16													
17													

Fonte: AUTOR.

A Tabela 13 apresenta a análise estatística dos indicadores: Fluxo de Caixa (FC), Valor Presente Líquido (VPL), Índice de Lucratividade (IL) e Taxa Interna de Retorno (TIR)

Tabela 13 - Análise estatística do FC, VPL, IL e TIR

Ano	Fluxo de Caixa	VPL	IL	TIR
0	-120.660,08	10.869,46	1,09	17%
1	31.049,50			
2	32.306,70			
3	33.667,03			
4	34.749,90			
5	36.304,50			
6	37.614,50			

Fonte: Adaptado BRAZ; ARAÚJO, 2013.

Pode-se observar pela Tabela 13 e seguindo os critérios definidos no Tópico 8 que o projeto apresenta um valor presente líquido positivo, índice de lucratividade maior que 1 e a taxa interna de retorno maior que a taxa mínima de atratividade, sendo o projeto considerado aprovado e viável.

10. CONCLUSÕES

O referido trabalho apresenta o dimensionamento para dar uma destinação correta para a grande quantidade de dejetos produzidos numa granja suína com utilização de biogás proveniente desses dejetos. Nele foram determinados a quantidade diária dejetos produzidos a partir da quantidade de animais que vai compor a granja e com isso foi possível calcular a capacidade de produção de biogás da planta, além disso, nas visitas feita a fazenda foi possível verificar o atual consumo de energia da fazenda e através das informações obtidas junto ao CEPEA, determinar uma média do futuro consumo mensal da granja.

A partir de uma revisão bibliográfica e com a ajuda de algumas empresas especializadas, foi fundamentado um sistema que melhor se adequa a especificações da fazenda Bom Jesus.

De modo geral pode-se afirmar que os objetivos propostos foram alcançados e a utilização de biogás para geração de energia elétrica é uma alternativa para a diminuição dos efeitos danosos ao meio ambiente.

Do ponto de vista econômico, pode-se afirmar que o projeto atendeu as expectativas desejadas, sendo, para a planta em questão, totalmente viável com recuperação do investimento feito em pouco mais de 5 anos, Isso considerando o *payback descontado*, ou seja, aquele em que o fator tempo no valor do dinheiro é levado em consideração e também a taxa mínima de atratividade. Conforme mostrado na Tabela 26, é possível a granja no prazo de 6 anos ir abatendo parte da dívida junto a instituição bancária e ter rendimentos para abater parte dos gastos mensais da fazenda. Por exemplo, no pagamento da primeira parcela do financiamento, a granja conseguiria de uma economia de 29,3% em relação aos gastos mensais, e a tendência desse percentual é aumentar, já que as parcelas do financiamento são decrescentes.

Para trabalhos futuros pode-se fazer:

- Uma análise de viabilidade econômica de uma de biogás, porém, além da produção de energia para atender a demanda da propriedade, uma análise de cogeração interligada a rede da concessionária, assim, gerando créditos para abater na conta de energia elétrica.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFAKIT < <http://www.alfakit.ind.br> > acesso em Agosto de 2016.

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 482**. 2012.

BALMANT, W. **Concepção, Construção e Operação de Um Biodigestor e modelagem matemática da Biodigestão Anaeróbica**. Dissertação Para Obtenção do Grau de Mestre. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2009.

BRAZ, O. S.; ARAÚJO, R. A. **Grupo Motor gerador de Energia Elétrico Movido a Biogás**. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade de Franca. Franca. 2014.

BLEY JR, C. **Biogás – a energia invisível. 2ª edição** – revista e ampliada. 2014.

BIOGÁS MOTORES. <<http://biogasmotores.com.br>> acesso em 17 de jan. de 2016.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Custos de produção da suinocultura: Ativos do campo suinocultura**. Informativo Cepea. 2015.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo. **Biogás – Pesquisas e Projetos no Brasil**. São Paulo. 2006.

COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel-PR. 2006.

DARTORA, R; PERDOMO, C. C; TUMELERO, I. L. **Manejo de dejetos de suínos. BIPERS – Boletim Informativo de Pesquisa nº 11**. Embrapa Suínos e Aves. Porto Alegre-RS. 1998.

DIESEL, R; MIRANDA, C. R; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos. BIPERS – Boletim Informativo de Pesquisa nº 14.** Embrapa Suínos e Aves. Porto Alegre-RS. 2002.

DEGANUTTI, R. et. al – **Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada.** 2002.

DONGALA, A. M. **Projeto de Biodigestor para Geração de Bioenergia em Sistema de Produção de Suínos – Um Estudo de Caso da Região de Icolo e Bengo – Angola.** Dissertação para Obtenção de Título de Mestre. UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2010.

ER-BR – Energias Renováveis < http://www.erbr.com.br/produtos/p_geradores.php > acesso em Novembro de 2016.

FLORES, M. C. **Viabilidade Econômica do Biogás Produzido Por Biodigestor Para a produção de Energia elétrica – Estudo de caso em um Confinador Suíno.** Dissertação para Obtenção do Título de Engenheiro Químico. UNIFAL - Universidade Federal de Alfenas. Minas Gerais. 2014.

HAAS, L. B. **Desenvolvimento de um filtro para remoção de H₂S de Biogás.** Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Energia na Agricultura. UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel-PR. 2013.

KUNS, A. PAULILLO, G. **Curso de Atualização em energias do biogás. Módulo II - Linhas de base para a produção e conversão de energia do biogás.** 2013.

JOHANN, C. D. **Dimensionamento de uma instalação para aproveitamento do biogás existente nas pequenas propriedades rurais.** Trabalho final de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica. FAHOR – Faculdade Horizontina. Horizontina-RS. 2012.

JUNQUEIRA, S. L. C. D. **Geração de Energia Através de Biogás Proveniente de Esterco Bovino: Estudo de Caso Na Fazenda Aterrado**. Trabalho de Conclusão de Curso e Engenharia Mecânica. UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2014.

NEPPA - Núcleo de Estudo e Pesquisa em Produção Animal da Universidade do Estado da Bahia. **Manual do Biodigestor Winrock**. Disponível em: <www.neppa.uneb.br/textos/publicações/manuais/manual_biodigestor_winrock.pdf> Acesso em: 10 de dez. de 2015.

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 em Engenharia Elétrica. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos. 2009.

OLIVEIRA, L. F. A; PACHECO, N. O; SILVEIRA, R. R. **Análise de Viabilidade Econômico-Financeira de investimentos: O caso de um consultório odontológico em Natal/RN**. Trabalho apresentado no XXXI Encontro Nacional de Engenharia de produção. Belo Horizonte – MG. 2011.

PRATI, L. **Geração de Energia Elétrica a partir de do Biogás Gerado por Biodigestores**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Paraná. Paraná. 2010.

PEREIRA, R. H. **Geração Distribuída de Energia Elétrica – Aplicação de Motores Bicomustível Diesel/Gás Natural**, In: **3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás**. Salvador – BA. 2005.

SECCHI, R. A. S. **Geração de energia elétrica a partir do biogás**. Trabalho final de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica. FAHOR – Faculdade Horizontina. Horizontina-RS. 2014.

TALAMINI, D. J. D. et. al. **Custos agregados da produção integrada de suínos na fases de leitões e de terminação**. Custos e @gronegócio online. Concordia – SC. 2006.

ZANIN, L; BECKER, M. V; SANTOS, P. S. **Potencial de energia a partir de águas residuais urbanas**. Artigo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS, Porto Alegre – RS. 2014.