



**Rafael Arnaldo Sulzbach Secchi**

# **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS**

**Horizontina**

**2014**

**Rafael Arnaldo Sulzbach Secchi**

## **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Ademar Michels, Doutor em Engenharia Mecânica.

**Horizontina**

**2014**

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:**

**“Geração de energia elétrica a partir do biogás”**

**Elaborada por:**

**Rafael Arnaldo Sulzbach Secchi**

como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 10/12/14  
Pela Comissão Examinadora**

---

**Prof. Dr. Ademar Michels  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

---

**Prof. Me. Anderson Dal Molin  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

---

**Prof. Me. Jonas Rigodanzo  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina  
2014**

## **DEDICATÓRIA**

A toda minha família, em especial meus pais, minhas irmãs, meu cunhado, que sempre me deram apoio e força para seguir em busca de meus objetivos.

## **AGRADECIMENTO**

À minha família, que sempre me incentivou e deu suporte durante esses anos.

A uma pessoa muito especial, que esteve presente em meu dia-a-dia nos últimos anos, em momentos de alegria e tristeza, Tatiane Andreolla.

A todos os professores da FAHOR que contribuíram para minha formação, tanto técnica quanto pessoal.

Ao professor e amigo Dr. Ademar Michels, pela excelente orientação na realização deste estudo.

Aos colegas e os amigos que fiz no Baja Sinuelo-Fahor, no DAFH (Diretório Acadêmico da Fahor) e no intercâmbio na Alemanha pelos momentos juntos de aprendizagem e conquistas.

Aos amigos, que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste estudo.

## RESUMO

O gás metano que provem do biogás através da transformação anaeróbica de dejetos da suinocultura, é um gás cerca de vinte vezes mais poluente que o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), de tal forma, sendo um potencial problema ao efeito estufa. O objetivo geral aborda um estudo de viabilidade técnica e econômica para geração de energia elétrica através do biogás de um biodigestor, e ainda, descreve os objetivos específicos sendo: calcular a capacidade de produção de biogás e transcrever o consumo total de energia elétrica da propriedade; pesquisar e definir um sistema simples e barato a ser implantado com os equipamentos existentes no mercado - o biodigestor e o motor-gerador -; estudar a possível comercialização da energia excedente com a companhia que fornece a energia elétrica; e por último, calcular a viabilidade econômica e tempo de retorno do investimento do respectivo trabalho. A metodologia abordada nesse trabalho é de natureza aplicada e tendo como objetivo exploratória já que faz um estudo de caso com uma pesquisa em campo, ainda, as técnicas relacionadas são entrevista informal junto à propriedade, *benchmarking* junto às empresas dos equipamentos de melhor custo-benefício, cálculos da capacidade de produção de biogás e análise de viabilidade econômica. Os resultados são positivos, pois se conclui sendo viável nesse estudo de caso, a geração de energia elétrica através do biogás de um biodigestor. Mas ainda é importante frisar - por ser uma tecnologia nova e em desenvolvimento no Brasil, pela falta de políticas públicas pertinente ao assunto e pela grande responsabilidade quando se diz a respeito de injetar a energia elétrica gerada na rede de distribuição – se vale a pena investir nas condições atuais, nessa forma de gerar energia elétrica.

**Palavras-chave:** Geração distribuída de energia elétrica. Biogás. Biodigestor.

## ABSTRACT

Methane gas coming from the biogas through anaerobic processing of swine manure, that is gas about twenty times more polluting than carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) in such a manner, a potential problem with the greenhouse effect. The overall objective covers a study of technical and economic feasibility for electricity generation through biogas a digester, and also describes the specific objectives are: calculate the biogas production capacity and transcribe the total electricity consumption of the property; research and define a simple and inexpensive system to be deployed with existing equipment on the market - the digester and the engine-generator -; study the possible sale of surplus power with the company that provides electricity; and finally, calculate the economic viability and return time of investment of their work. The methodology discussed in this paper is of an applied nature and with the exploratory objective since it is a case study with a research field also related techniques are informal interview with the property, benchmarking with companies of the most cost-effective equipment, calculations of biogas production capacity and analysis of economic viability. The results are positive, it is concluded that feasible in this case study, the generation of electricity through biogas a digester. But it is still important to crimp, - because it is a new and developing technology in Brazil, the lack of public policies relevant to the subject and the great responsibility when it says of injecting the electricity generated in the distribution network - if it is worth investing under current conditions, this way of generating electricity.

**Keywords:** Distributed generation of electricity. Biogas. Biodigester.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Consumo final de energia por fonte no Brasil, ano 2013 e 2012.....	14
Figura 2 - Matriz elétrica Brasileira, ano 2013 e 2012.....	14
Figura 3 - A Matriz elétrica brasileira a partir da biomassa .....	15
Figura 4 - Estrutura da oferta de energia elétrica a partir da biomassa na Alemanha 2011...16	
Figura 5 - Evolução do número de unidades de biogás e a capacidade elétrica total instalada .....	16
Figura 6 - Refinaria de biogás na Alemanha, no estado de Saxônia-Anhalt .....	17
Figura 7 - Esboço de uma planta geradora de energia elétrica, calor e frio a partir do biogás gerado por biodigestores.....	19
Figura 8 - Gráfico de relação entre o poder calorífico do biogás e porcentagem de metano em volume.....	23
Figura 9 - Biodigestor modelo Indiano .....	27
Figura 10 - Biodigestor Chinês.....	28
Figura 11- Modelo canadense de biodigestor.....	29
Figura 12 - Biodigestor tipo Batelada .....	29
Figura 13 - Turbina a gás: (a) circuito aberto – processo real de combustão interna; (b) circuito fechado – aproximação por um processo ideal de transferência de calor.....	32
Figura 14 - Conjunto motor-gerador .....	39

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANEEL	- Agencia Nacional de Energia Elétrica
COPEL	- Companhia Paranaense de Energia
CPFL	- Companhia Paulista de Força e Luz
EPE	- Empresa de Pesquisa Energética
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IEA	- International Energy Agency
MDL	- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
RCE	- Reduções Certificadas de Emissão
RGE	- Rio Grande Energia
UNESP	- Universidade Estadual de São Paulo

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1. JUSTIFICATIVA.....	11
1.2. OBJETIVOS.....	12
1.2.1. OBJETIVO GERAL.....	12
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
2.1. MATRIZ ENERGÉTICA .....	13
2.1.1. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA .....	13
2.1.2. MATRIZ ENERGÉTICA ALEMÃ.....	15
2.2. BIOGÁS .....	17
2.2.1. HISTÓRICO DO BIOGÁS .....	19
2.2.2. FORMAÇÃO DO BIOGÁS.....	21
2.2.3. PODER CALORÍFICO.....	23
2.2.4. APLICAÇÃO DO BIOGÁS.....	24
2.2.4.1. EMPREGO DO BIOGÁS NA PRODUÇÃO DE VAPOR.....	25
2.2.4.2. EMPREGO DO BIOGÁS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	25
2.2.4.3. EMPREGO DO BIOGÁS COMO COMBUSTÍVEL VEICULAR .....	25
2.3. BIODIGESTOR .....	26
2.3.1.1. BIODIGESTOR CONTÍNUO .....	27
2.3.1.1.1. BIODIGESTOR TIPO INDIANO.....	27
2.3.1.1.2. BIODIGESTOR TIPO CHINÊS.....	28
2.3.1.1.3. BIODIGESTOR TIPO CANADENSE OU MARINHA BRASILEIRA.....	28
2.3.1.2. BIODIGESTOR TIPO BATELADA .....	29
2.4. CONVERSÃO ENERGÉTICA DE BIOGÁS EM ENERGIA ELÉTRICA .....	30
2.4.1. MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.....	30
2.4.2. TURBINAS A GÁS .....	31
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>33</b>
3.1. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS.....	33
<b>4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>35</b>
4.1. ESTUDO DE CASO – GRANJA SECCHI .....	35
4.2. CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS .....	35
4.2.1. MEMORIAL DE CÁLCULO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS .....	37
4.3. EQUIPAMENTO BIODIGESTOR .....	38
4.4. EQUIPAMENTO MOTOR-GERADOR.....	39
4.5. POSSIBILIDADE DE INJETAR A ENERGIA EXCENTE NA REDE .....	39
4.5.1. JUNTO A ANEEL .....	40

4.5.2. JUNTO A RGE .....	41
4.5.3. JUNTO A COPEL .....	42
4.6. VIABILIDADE ECONÔMICA.....	42
4.6.1. MEMORIAL DE CÁLCULOS PARA VIABILIDADE ECONÔMICA.....	45
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>49</b>
<b>APÊNDICE A - ENTREVISTA INFORMAL REALIZADA JUNTO A PROPRIEDADE.....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXO A – PROPOSTA DE PARA AQUISIÇÃO - EMPRESA RECOLAST IMPERMEABILIZAÇÕES LTDA.....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO B – PROPOSTA PARA AQUISIÇÃO - EMPRESA BIOGÁS MOTORES ESTACIONÁRIOS .....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXO C - CONTRATOS PARA COMPRA DE ELETRICIDADE PRODUZIDO POR BIOGÁS .....</b>	<b>57</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Na alta dos preços dos combustíveis convencionais, o crescente desenvolvimento econômico, a implantação de redes inteligentes (*smart grids*) e conseqüentemente a geração distribuída da energia elétrica, vêm dessa forma, estimulando pesquisas em fontes renováveis para produção de energia limpa, assim reduzindo a dependência da produção energética a partir dos recursos naturais esgotáveis.

O biogás antes era considerado apenas como um subproduto obtido por meio da decomposição de lixo urbano, do tratamento de efluentes domésticos e resíduos animais, mas atualmente vem obtendo espaço nas pesquisas de energias renováveis para a geração de energia elétrica, calor ou gás para suprir a demanda que vem surgindo. No Brasil as pesquisas sobre biogás estão em estágios iniciais e as aplicações ainda em fase de testes para geração de energia elétrica, mas na Alemanha já se encontra com um *know how* muito avançado, cerca de 15 anos no mercado, elevando ela como referência mundial no assunto. Atualmente ela está desenvolvendo parcerias com outros países, para compartilhar o *know how* e exportar os produtos para os países em desenvolvimento.

O gás metano que provem do biogás é poluente, pois é reconhecido como um problema ao meio ambiente, já que causa o efeito estufa. Ainda, para o estudo de caso do trabalho, o suinocultor relata que “quando os dejetos dos suínos estão em transformação anaeróbica (gerando o gás metano), é a fase em que gera um odor muito forte e atrai moscas, bactérias e outros insetos”, assim também sendo um problema.

### 1.1. JUSTIFICATIVA

Este trabalho é um estudo de viabilidade técnica e econômica para geração de energia elétrica através do biogás. Nessas perspectivas, se justifica o uso do biogás para gerar energia elétrica em alguns pontos: a substituição de energias provenientes de fontes não renováveis por fontes renováveis, a oportunidade da geração da energia elétrica na sua forma distribuída - diversificando a matriz elétrica, não dependendo praticamente apenas da hidráulica, pois corre o risco de ausência de águas/chuvas e ainda, a oportunidade de poder reter conhecimentos sobre outra maneira de gerar energia - que conseqüentemente contribui para a implantação de

redes inteligentes (*smart grids*), além do mais, cooperando com os problemas sociais, pois estimula alternativas racionais para resolver os problemas existentes.

Ainda, quando se aborda a questão da geração distribuída, oportunizam-se diretamente os pequenos e micros geradores (pessoas civis ou jurídicas), tal forma que, os mesmo podem-se tornar autossuficiente na geração de energia elétrica e o excedente, existem a possibilidade de injetar na rede das companhias elétricas de distribuição de energia, sem falar que, tornando-se um potencial de renda, pois já se tem conhecimento que uma companhia já faz a compra da energia excedente, assim os geradores podendo obter e manter a competitividade no seu mercado de atuação e por ultimo, os suinocultores tem a possibilidade de acabarem com o odor ruim e a atração de moscas, bactérias e outros insetos.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo Geral

Fazer um estudo de viabilidade técnica e econômica para geração de energia elétrica através do biogás de um biodigestor.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

Visando atingir o objetivo geral, alguns objetivos específicos são requeridos:

- Calcular a capacidade de produção de biogás e transcrever o consumo total de energia elétrica da propriedade;
- Pesquisar e definir um sistema simples e barato a ser implantado com os equipamentos existentes no mercado - o biodigestor e o motor-gerador;
- Estudar a possível comercialização da energia excedente com a companhia que fornece a energia elétrica;
- Calcular a viabilidade econômica, e tempo de retorno do investimento do respectivo trabalho.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Na revisão da literatura, estão abordados os conceitos pertinentes à realização deste trabalho, buscando fundamentação e base bibliográfica que serviram de suporte ao desenvolvimento desse projeto.

### 2.1. MATRIZ ENERGÉTICA

A matriz energética é um conjunto de fontes de energia que sustenta o desenvolvimento de suas atividades econômicas. Segundo Cardoso (2014), existe uma variedade de fontes de energia, que são classificadas em renováveis e não renováveis. A energia renovável é aquela obtida a partir de recursos naturais que não se esgotam com o uso, enquanto a energia não renovável é produzida através de recursos que não podem ser repostos nem pelo homem nem pela natureza, esgotando-se à medida que são explorados.

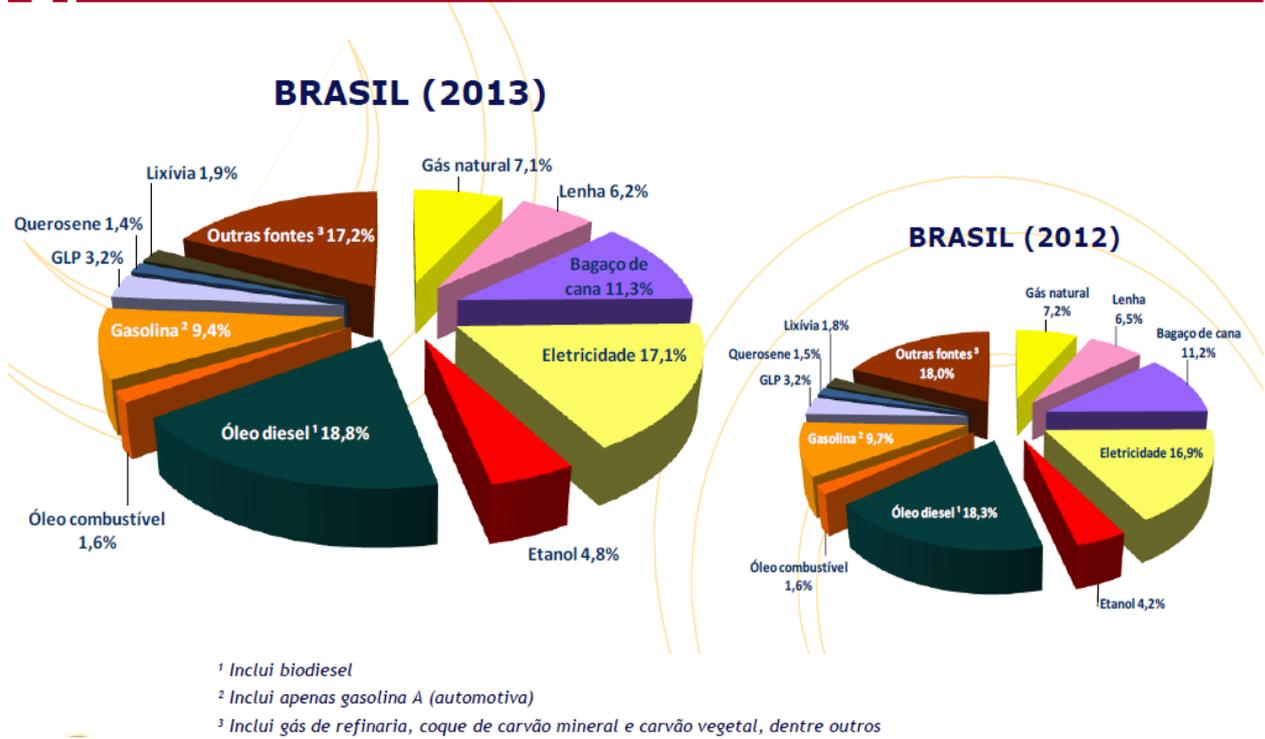
#### 2.1.1. Matriz energética Brasileira

Conforme Ministério de Minas e Energia do Brasil (2014), através de sua EPE em seu relatório síntese do ano base de 2013 sobre balanço Energético Nacional 2014, que conforme a Figura 1, pode se verificar o consumo final de energia por fonte no Brasil, ano 2013 e 2012, isso é, a sua matriz energética que ainda depende muito dos combustíveis fósseis.

Ainda conforme Ministério de Minas e Energia do Brasil (2014), na Figura 2, pode-se verificar a matriz elétrica Brasileira, ano 2013 e 2012. Essa figura corresponde à parte eletricidade da Figura 1, que é de apenas 17,1% (2013) da matriz do consumo final. Nessa perspectiva, observa-se que a energia elétrica gerada pela biomassa - que nela está inserida o biogás -, corresponde a apenas 7,6% do total, de tal maneira, que é muito inferior comparada à energia elétrica gerada pela hidráulica, assim, oportunizando mais investimento na energia elétrica gerada pela biomassa, já que o Brasil tem, sem dúvida, um alto potencial de combustível provenientes da biomassa.

Figura 1- Consumo final de energia por fonte no Brasil, ano 2013 e 2012

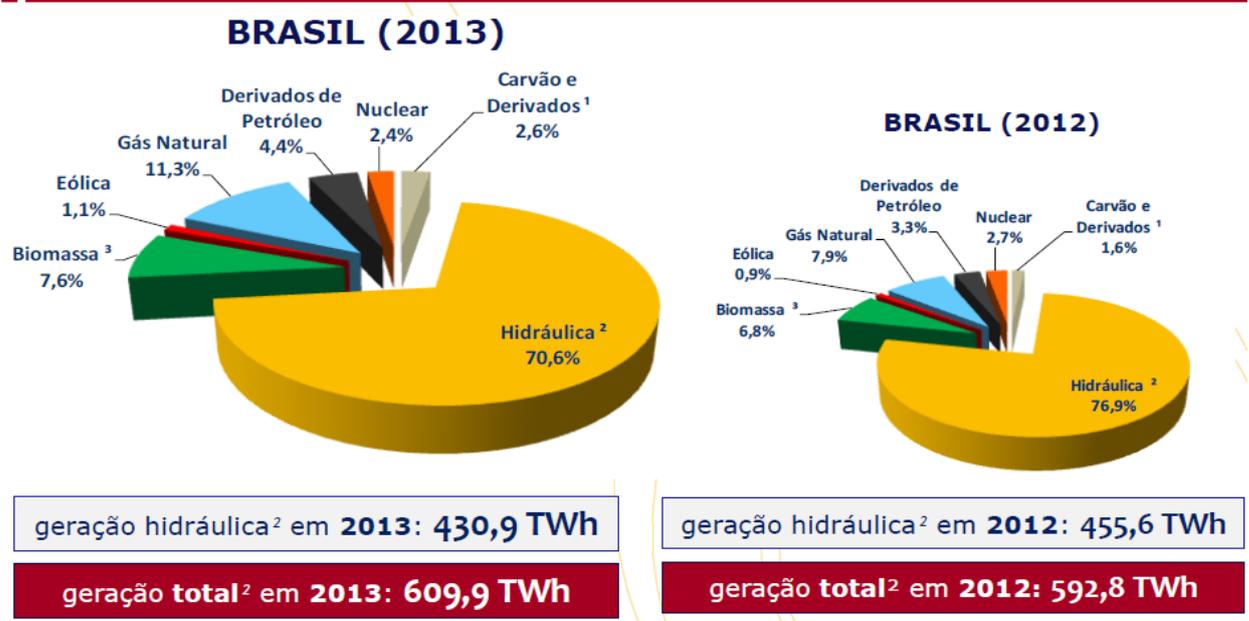
## Consumo final de energia por fonte



Fonte: Balanço Energético Nacional, 2014, p 18.

Figura 2 - Matriz elétrica Brasileira, ano 2013 e 2012

## Matriz Elétrica Brasileira



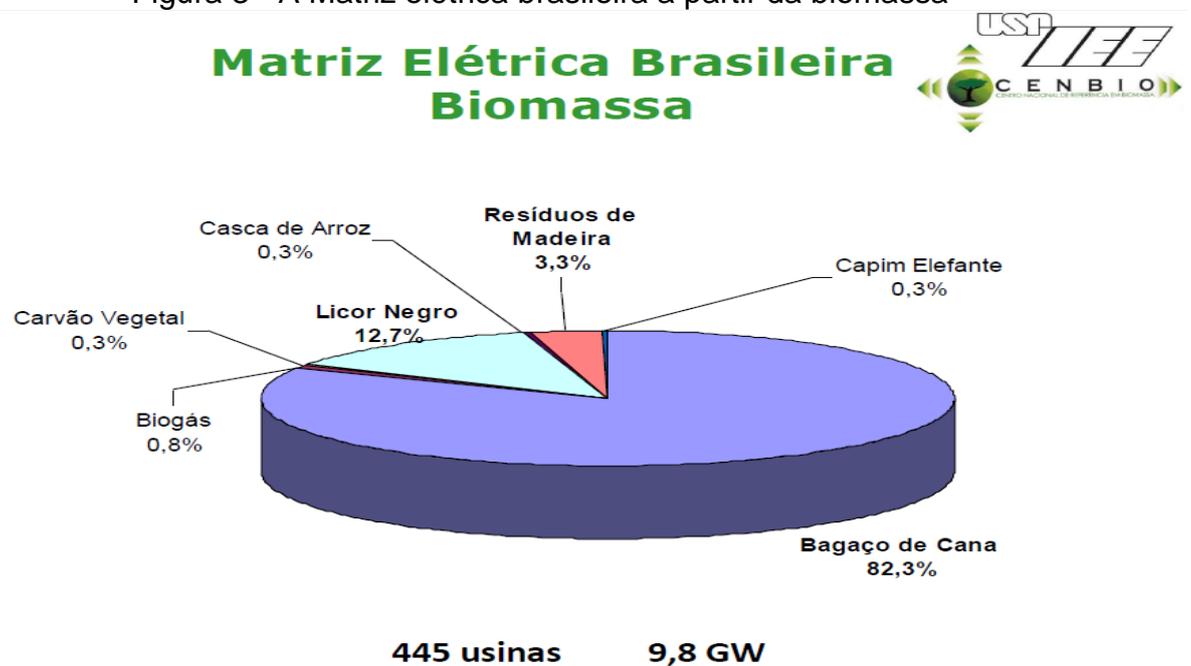
<sup>1</sup> Inclui gás de coqueria  
<sup>2</sup> Inclui importação  
<sup>3</sup> Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações.



Fonte: Balanço Energético Nacional, 2014, p 29.

Na sequência, agora citando por CENBIO (2012), a Figura 3, pode-se verificar a matriz elétrica brasileira a partir da biomassa, ano de 2012. Essa figura corresponde à parte biomassa da Figura 2, que é de apenas 7,6% (2013) da matriz elétrica brasileira. Nessa perspectiva, observa-se que a energia elétrica gerada pelo biogás, corresponde a apenas 0,8% do total, de tal maneira, que é muito inferior comparada à energia elétrica gerada pela bagaço de cana e comparada ao cenário total (Figura 1), indiscutivelmente a energia elétrica brasileira proveniente do biogás ainda é considerada um “espermatozoide” as demais, de tal forma, oportunizando investimentos em pesquisas e a necessidade de esforço político, para acelerar o crescimento.

Figura 3 - A Matriz elétrica brasileira a partir da biomassa

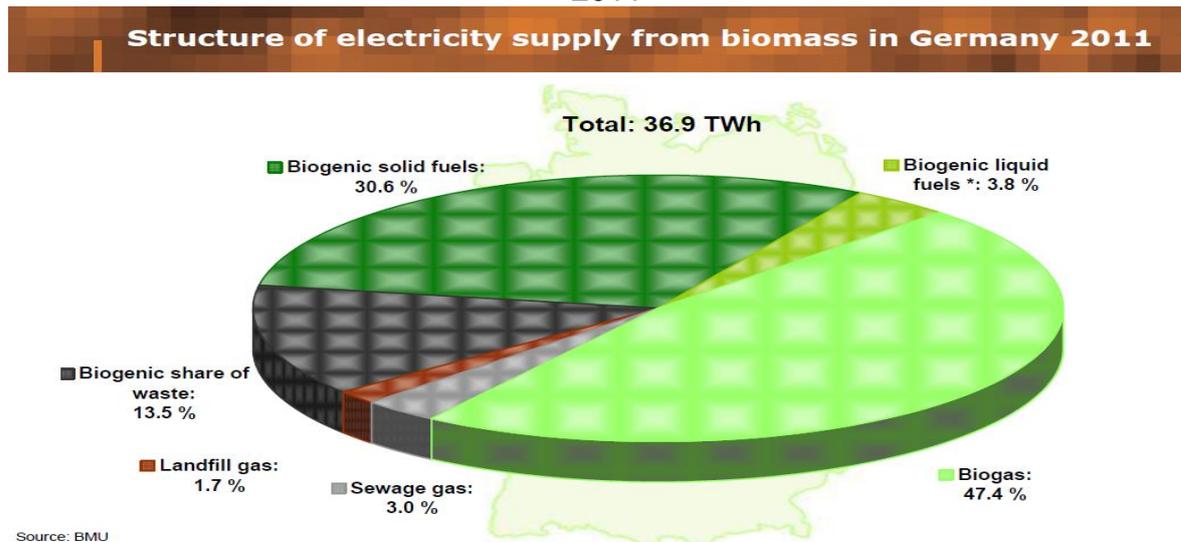


Fonte: A biomassa no Brasil e o papel do CENBIO, 2012, p. 9.

### 2.1.2. Matriz energética Alemã

Segundo Volkmann (2012) na Figura 4, pode-se verificar a estrutura da oferta de energia elétrica a partir da biomassa na Alemanha 2011. Fazendo uma comparação entre a Alemanha e a Brasileira, podem-se observar a diferença gigantesca na quantidade, sendo que o Brasil produz apenas 0,027% da energia elétrica a partir da biomassa e apenas 0,00045% a partir do biogás que a Alemanha.

Figura 4 - Estrutura da oferta de energia elétrica a partir da biomassa na Alemanha 2011



**Fonte:** A biomassa no Brasil e o papel do Renewable Energies in Germany at a Glance, 2012, p. 14.

Já na Alemanha, conforme a Figura 5, hoje tem mais de 7470 digestores para a produção de biogás, encontra-se em operações em fazendas.

Figura 5 - Evolução do número de unidades de biogás e a capacidade elétrica total instalada



**Fonte:** Biogas Praxis, p. 14.

<sup>1</sup> Sewage gas: gás de esgoto; Landfill gas: gás de aterro; Biogenic share of waste: resíduo de ação biogénica; Biogenic solid fuels: Combustível sólido biogénico; Biogenic liquid fuels: Combustível líquido biogénico.

<sup>2</sup> Anzahl der Anlagen: Quantidade de instalações; Install. elektr. Anlagenleistung in MW: Sistema elétrico de potência instalada em MW; Entwicklung der Zahl der Biogasanlagen und insgesamt installierte elektrische Leistung: Evolução do número de unidades de biogás e de energia elétrica total instalada; Fachverband biogás e. v., Stand 11/2011: Associação Alemã de Biogás, período 11/2011; Anzahl der Biogasanlagen: Número de unidades de biogás; Installierte elektr. Leistung (MW): Potencia elétrica instalada em atuação.

Ainda na Alemanha no estado de Saxônia-Anhalt, Figura 6, tem uma das maiores refinaria de biogás do mundo com fornecimento de gás desde o ano de 2009 com um investimento total de cerca de 31,5 milhões de euros pela operadora do parque Nordmethan Produktion Könnern Süd GmbH. Foram criados 16 postos de trabalho e mais dois para estagiários. O peso anual exigida pela refinaria é de cerca de 120 mil toneladas, que são entregues por cerca de 30 agricultores que estão em um raio médio de 15 km (FACHVERBAND BIOGAS E.V., 2014).

Figura 6 - Refinaria de biogás na Alemanha, no estado de Saxônia-Anhalt



Fonte: Fachverband Biogas e.V.

A produção da refinaria anual equivale a uma quantidade de 15 milhões de metros cúbicos de biometano. Isso é suficiente para abastecer cerca de 10 mil famílias com calor (aquecimento) e eletricidade ou para 9000 carros com uma quilometragem anual de 30.000 km (FACHVERBAND BIOGAS E.V., 2014).

## 2.2. BIOGÁS

No Brasil, além do biogás – que é uma biomassa - ser usada na matriz energética para a geração de energia elétrica, podem-se citar outras que são usadas para a geração de energia elétrica, tais como, bagaço de cana de açúcar, licor

negro, resíduos de madeira, carvão vegetal, casca de arroz, gás de alto forno, capim elefante, óleos vegetais (ANEEL, 2014).

Ainda conforme ANEEL (2014), a biomassa é todo recurso renovável que provêm de matéria orgânica - de origem vegetal ou animal - tendo por objetivo principal a produção de energia.

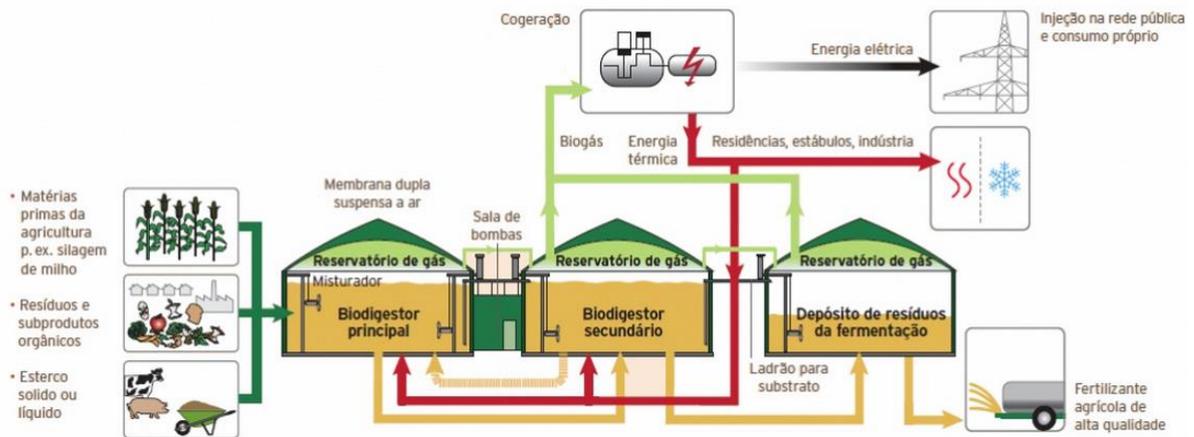
De acordo com o Atlas de Energia Elétrica do Brasil (2008) biomassa é qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica. De acordo com a sua origem, pode ser: florestal (madeira, principalmente), agrícola (soja, arroz e cana-de-açúcar, entre outras) e rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo). Os derivados obtidos dependem tanto da matéria-prima utilizada (cujo potencial energético varia de tipo para tipo) quanto da tecnologia de processamento para obtenção dos energéticos.

Segundo Rozainee (2008), biomassa e resíduos são recursos renováveis, o que implica que eles ocorrem naturalmente e repetidamente no ambiente. A fonte de energia, que induz a capacidade de renovação da biomassa, um processo dinâmico, é o sol na forma de fotossíntese sustentável o crescimento de plantas com subsequente libertação na biosfera. Estima-se que a biomassa contribui com cerca de 14% da oferta de energia do mundo. As principais fontes de biomassa incluem vegetação natural e resíduos ou resíduos de atividades humanas e de animais, como resíduos da indústria florestal, resíduos da agroindústria, resíduos animais e de resíduos sólidos urbanos.

O biogás é também denominado como metano ou Gobar Gas (que em indiano significa gás de esterco) é um combustível com enorme capacidade calorífica que provem da fermentação anaeróbica da biomassa, a sua utilização pode ser no aquecimento de fogões, estufas, aquecedor, funcionamento de motores ciclo Otto, entre outros aparelhos co-geradores de energia (FARRET, 2010 apud JOHANN, 2012).

Na Figura 7, um exemplo de esboço de uma planta geradora de energia elétrica, calor e frio a partir do biogás gerado por biodigestores, ainda, o insumo utilizado para a fermentação é dividido em três secções – as matérias primas da agricultura (por ex. silagem de milho); resíduos e subprodutos orgânico; e esterco solido ou liquido (ECO ENERGIA DO BRASIL – BIOGÁS E BIOMETANO, 2014).

Figura 7 - Esboço de uma planta geradora de energia elétrica, calor e frio a partir do biogás gerado por biodigestores



Fonte: ECO energia do Brasil – biogás e biometano.

### 2.2.1. Histórico do biogás

Segundo Gryscek, Belo (1983) apud Prati (2010, p. 13) na natureza existem vários ambientes favoráveis ao desenvolvimento da digestão anaeróbica, sendo representados pelos pântanos, estuários, mares e lagos, usinas de carvão e jazidas petrolíferas. Esses sistemas anaeróbios possuem concentrações baixas de oxigênio, facilitando a ocorrência da geração do biogás.

E de acordo com Deublein (2006) apud Cacheto (2010) apud Johann (2012, p. 23), fontes muito antigas indicam que utilização de recursos renováveis para o fornecimento de energia em forma gasosa, já era conhecido antes do nascimento de Cristo. Tem relatos que em 3.000 a. C. os Sumérios praticavam a purificação anaeróbica de resíduos. Em 50 a. C. um estudioso romano chamado Plínio observou algumas luzes cintilantes aparecendo debaixo de pântanos.

A data de descoberta do biogás, ou "gás dos pântanos" é do ano de 1667 e só um século mais tarde que se volta a reconhecer a presença de metano no gás dos pântanos, atribuído a Alessandro Volta, em 1776 (CLASSEN; LIER; STAMRS, 1999 apud PRATI, 2010, p. 13).

Já no século XIX, Ulysse Grayon, aluno de Louis Pasteur, realizou a fermentação anaeróbica de uma mistura de estrume e água, a 35 °C, conseguindo obter 100 litros de gás por metro cúbico de matéria. Em 1884, Louis Pasteur, ao apresentar os trabalhos do seu aluno à Academia das Ciências, considerou que essa fermentação podia constituir uma fonte de aquecimento e iluminação (NOGUEIRA, 1986 apud PRATI, 2010, p. 13).

Nas décadas de 50 e 60, Índia e China, utilizaram o processo de biodigestão sendo os primeiros países a exercer essa prática, com a crise do petróleo na década de 70 essa tecnologia foi trazida ao Brasil (COELHO, 2001 apud FIGUEIREDO, 2010, p.24).

Para Boletim Enfoque (1999) apud Prati (2010, p. 14) com a crise do petróleo na década de 70 foi trazida para o Brasil a tecnologia da digestão anaeróbia. Na região nordeste, foram implantados vários programas de difusão dos biodigestores e a expectativa era grande, porém os benefícios obtidos a partir do biogás e do biofertilizante não foram suficientes para dar continuidade aos programas e os resultados não foram muito satisfatórios.

De acordo com Pecora (2006) apud Figueiredo (2007, p. 24),

com a crise do petróleo, diversos países buscaram alternativas para sua substituição, acarretando em um grande impulso na recuperação de energia gerada pelos processos de tratamento anaeróbio. Porém, as soluções para os problemas de desenvolvimento devem ser apropriadas às necessidades, capacidades e recursos humanos, recursos financeiros e cultura. Deste modo, o impulso recebido durante a crise não chegou a substituir os recursos não renováveis por fontes renováveis.

Segundo Costa (2006) apud Zilotti (2012, p. 19), atualmente, o biogás não é mais encarado apenas como um subproduto, obtido a partir da decomposição anaeróbia, e sim como um forte alvo de pesquisas, que buscam formas de produção energética que possibilitem a redução do uso dos recursos naturais não renováveis.

De acordo com Etchecoin (2000) apud Zilotti (2012, p. 19),

no final da década de 90, um novo movimento, envolvendo o interesse no biogás, começou a aparecer, motivado pela possibilidade da inserção dos processos de anaerobiose no mercado de carbono via MDL (mecanismo de desenvolvimento limpo). Em 2005, com a ratificação da Rússia no protocolo de Kyoto, grande euforia foi gerada, principalmente, para a agropecuária, na esperança de que os projetos e as RCE por si só viabilizariam os empreendimentos.

Segundo Zilotti (2012), atualmente esse mercado está bastante aquecido em função da ANEEL, que na data de 15 de dezembro de 2009, publicou a Instrução Normativa - IN 390/09, através da qual estabelece a necessária regulamentação do Decreto Lei 5163/04, que institui a Geração Distribuída no Brasil.

Ainda Zilotti (2012), a Geração Distribuída é aquela realizada por fontes geradoras ligadas diretamente nas redes de distribuição de energia, onde o sistema convencional passa a ser complementada por uma modalidade de geração descentralizada. A IN 390/09 refere-se, exclusivamente, à Geração Distribuída com biogás e saneamento ambiental.

### 2.2.2. Formação do biogás

De acordo com Costa (2002) apud Figueiredo (2007, p. 23) a conversão energética do biogás pode ser apresentada como uma solução para o grande volume de resíduos produzidos por atividades agrícolas e pecuárias, destilarias, tratamento de esgotos domésticos e aterros sanitários, visto que reduz o potencial tóxico das emissões de metano ao mesmo tempo em que produz energia elétrica, agregando, desta forma, ganho ambiental e redução de custos.

Segundo Van Haandel (1994) apud Zilotti (2012), a digestão anaeróbia é um processo em que algumas espécies de bactérias, que atuam na ausência de oxigênio, atacam a estrutura de materiais orgânicos complexos, para produzir compostos simples, tais como, metano, dióxido de carbono, deixando na solução aquosa subprodutos como: amônia, sulfetos e fosfatos, extraíndo, em simultâneo, a energia e os compostos necessários para o seu próprio crescimento.

Conforme Pecora (2006) apud Figueiredo (2007, p. 24) o biogás é formado a partir da degradação da matéria orgânica. É composto tipicamente por 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de outros gases como hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono, amônia, oxigênio e aminas voláteis. Dependendo da eficiência do processo, o biogás chega a conter entre 40% e 80% de metano.

Cada matéria prima ou fonte de resíduo possui um potencial de geração de biogás. Resíduos altamente fibrosos, como bagaço de cana e casca de arroz, considerados de baixa digestibilidade apresentam um menor potencial para a produção do biogás. Já matérias ricas em amidos, proteínas, celulose e carboidratos, como grãos, gramíneas, restos de abatedouros e fezes, apresentam alto potencial de produção de biogás (GRYSCHEK; BELO, 1983 apud PRATI, 2010, p. 16).

São vários os fatores que podem afetar a eficiência da produção de biogás. Na sequência são citados e discutidos os de maior relevância:

**Impermeabilidade ao ar:** As bactérias metanogênicas são essencialmente anaeróbias. A decomposição de matéria orgânica na presença de ar (oxigênio) irá produzir apenas dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (JUNIOR, 2000 apud PRATI 2010, p. 16).

**Natureza do substrato:** Os substratos nutritivos devem prover as fontes de alimento aos microrganismos, elementos químicos constituindo o material celular e

os necessários às atividades enzimáticas, particularmente os oligo-elementos, como o cálcio, magnésio, potássio, sódio, zinco, ferro, cobalto, cobre, molibdênio e manganês. Em fortes concentrações, esses elementos têm um efeito inibidor sobre o processo de fermentação. Por outro lado, os elementos majoritários como o carbono, nitrogênio, oxigênio, fósforo e enxofre, têm uma importância fundamental no rendimento dos gases de fermentação (PECORA, 2006 apud PRATI 2010, p. 16).

Composição dos resíduos: Quanto maior a porcentagem de material orgânico no resíduo, maior o potencial de geração de metano e vazão de biogás. Os principais nutrientes dos microorganismos são carbono, nitrogênio e sais orgânicos. Uma relação específica de carbono para nitrogênio deve ser mantida entre 20:1 e 30:1. A principal fonte de nitrogênio está nas dejeções humanas e de animais, enquanto os polímeros presentes nos restos de culturas representam o principal fornecedor de carbono. A produção de biogás não é bem sucedida, se apenas uma fonte de material for utilizada (JUNIOR, 2000 apud PRATI 2010, p. 17).

Teor de água: O teor de água dentro do biodigestor deve variar de 60 a 90% do peso do conteúdo total (JUNIOR, 2000 apud PRATI 2010, p. 17).

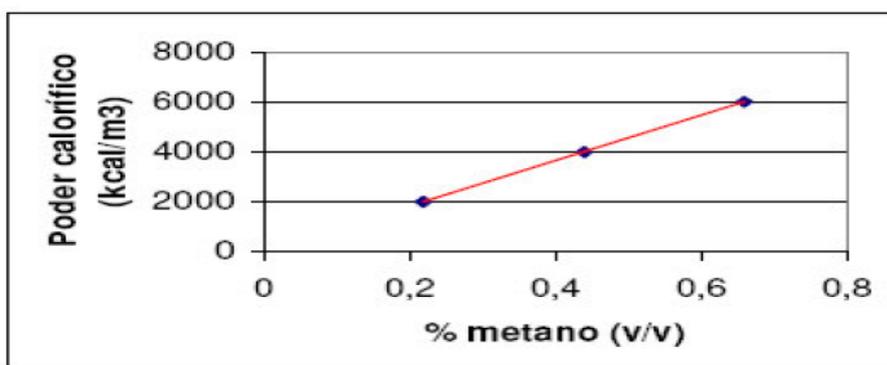
Temperatura: A atividade enzimática das bactérias depende estritamente da temperatura, visto que é conhecido que alterações bruscas de temperatura causam desequilíbrio nas culturas envolvidas, principalmente nas bactérias formadoras de metano. Em torno de 10 °C essa atividade é muito reduzida e acima de 65 °C as enzimas são destruídas pelo calor. Portanto, a faixa ideal para a produção de biogás é de 32 °C a 37 °C (bactérias mesofílicas) e de 50 °C a 60 °C (bactérias termofílicas) (JUNIOR, 2000 apud PRATI 2010, p. 17).

PH: A concentração em íons OH<sup>-</sup> no meio exterior tem uma grande influência sobre o crescimento dos microorganismos. Na digestão anaeróbia, observam-se duas fases sucessivas: a primeira se caracteriza por uma diminuição do pH em patamares próximos de 5,0 e a segunda por um aumento do pH e sua estabilização em valores próximos da neutralidade. A redução do pH é devida à ação das bactérias acidogênicas, as quais liberam rapidamente ácidos graxos voláteis. As bactérias metanogênicas, que têm taxas de crescimento mais fracas que as primeiras, se instalam progressivamente e induzem a elevação do pH através da catálise do ácido acético. No caso de tratamento anaeróbio em biodigestores de processos contínuos, o pH permanece neutro, aproximadamente 7 (JUNIOR, 2000 apud PRATI 2010, p. 17).

### 2.2.3. Poder calorífico

O principal componente do biogás é o metano, quando se trata de utilizá-lo como combustível, na Figura 8, pode-se ver a relação entre o poder calorífico do biogás e porcentagem de metano em volume, já que o poder calorífico do biogás se torna menor à medida que se eleva a concentração das impurezas, que segundo Alves (2000) apud Figueiredo (2007), a presença de substâncias (impurezas) não combustíveis no biogás (água, dióxido de carbono) prejudica o processo de queima tornando-o menos eficiente. Estas substâncias entram com o combustível no processo de combustão e absorvem parte da energia gerada.

Figura 8 - Gráfico de relação entre o poder calorífico do biogás e porcentagem de metano em volume



Fonte: ALVES, 2000 apud Figueiredo (2007).

Segundo Costa (2006) apud Zilotti (2012), o potencial energético do biogás varia em função da presença de metano em sua composição: quanto mais metano, mais rico é o biogás. Quando originário de reatores anaeróbios de efluentes a concentração média é até cerca de 70%. No entanto, o gás natural que tem até 95% de metano, apresenta maior poder calorífico.

Para Zilotti (2012), a quantidade de energia disponível durante a combustão por unidade de massa ou volume de um combustível é definida como poder calorífico. A densidade relativa do biogás é a relação existente entre seu peso específico e o peso específico do ar. Nessa perspectiva, na Tabela 1, apresenta o poder calorífico do biogás comparado a outros combustíveis.

Tabela 1 - Poder calorífico do biogás comparado a outros combustíveis

<b>Combustível</b>	<b>Biogás</b>	<b>Metano</b>	<b>Álcool</b>
Quantidade	1 m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>	1 litro
Calor liberado kJ	23.400	36.000	19.812
Peso específico kg.m <sup>3</sup>	1,2	0,72	809
Poder Cal. Inf. kJ.kg <sup>-1</sup>	19.500	50.000	24.490

**Fonte:** Lima (2005) apud Zilotti (2012)

Já na Tabela 2, apresenta a equivalência de 1Nm<sup>3</sup> de biogás em relação a outros combustíveis empregados atualmente como fonte energética.

Tabela 2 – Equivalência de 1Nm<sup>3</sup> de biogás em relação a outros combustíveis

<b>Combustível</b>	<b>Quantidade equivalente a 1Nm<sup>3</sup> de biogás</b>
Carvão Vegetal	0,8 kg
Lenha	1,5 kg
Óleo Diesel	0,55 l
Querosene	0,58 l
Gasolina Amarela	0,61 l
GLP (Gás Liquefeito de Petróleo)	0,45 l
kWh	1,43
Álcool Carburante	0,80 l
Carvão Mineral	0,74 kg

**Fonte:** Cardoso Filho (2001) apud Figueiredo (2011).

Nessa perspectiva, o biogás pode substituir outros combustíveis utilizados na indústria. Como por exemplo, com um 1Nm<sup>3</sup> de biogás obtêm-se a energia equivalente à de 1,5 Kg de lenha ou 0,74 Kg de carvão mineral.

#### **2.2.4. Aplicação do biogás**

O biogás é uma fonte primária de energia, podendo ser empregado em várias situações, por exemplo, desde o simples uso para iluminação de residências, aquecimentos de água, além de aquecimento de caldeiras e fornos em usos industriais, e ainda, em situações mais complexas que são abordadas na sequência.

### 2.2.4.1. Emprego do biogás na produção de vapor

Este é o caso de indústrias que tratam seus resíduos através do processo de digestão anaeróbia e utilizam o biogás gerado para geração de vapor nas caldeiras, economizando com isso óleo combustível, carvão mineral, carvão vegetal ou lenha, dessa maneira na Tabela 3, tem-se a equivalência energética do biogás (1m<sup>3</sup>) comparada a outras fontes de energias, que cada metro cúbico de gás equivale a aproximadamente 0,60 litros de querosene, 0,55 litros de diesel, 0,74 Kg de carvão mineral ou 1,6 kg de lenha.

Tabela 3 – Equivalência energética do biogás (1m<sup>3</sup>) comparada a outras fontes de energias

Energético	Ferraz e Mariel (1980)	Sganzeria (1983)	Nogueira (1986)	Barrera (2003)
Gasolina (l)	0,61	0,61	0,61	0,61
Querosene (l)	0,58	0,58	0,62	0,58
Diesel (l)	0,55	0,55	0,55	0,55
GLP (kg)	0,45	0,45	0,43	0,45
Álcool (l)	-	0,79	0,80	0,79
Carvão mineral (kg)	-	0,74	0,74	-
Lenha (kg)	-	1,52	3,50	1,54
Eletricidade (kWh)	1,43	1,43	-	1,43

**Fonte:** Ferraz e Mariel (1980), Sganzeria (1983), Nogueira (1986), Barrera (2003) apud Oliveira (2009).

### 2.2.4.2. Emprego do biogás para geração de energia elétrica

Segundo Quaschnig (2013), a utilização do biogás é principalmente em motores de combustão interna. Como uma técnica entra em questão nos motores a Gás-Otto ou motores diesel modificados. Dessa forma, o motor aciona um gerador elétrico, pode gerar energia elétrica a partir do biogás.

### 2.2.4.3. Emprego do biogás como combustível veicular

Com relação à utilização do biogás como combustível veicular, cabe destacar o sucesso dos programas desenvolvidos na Suécia, onde o biogás possui uma participação superior à do gás natural no consumo energético do setor de transportes (PERSSON, 2007 apud ZANETTE 2009). No final de 2005 existiam apenas 1600 estações de abastecimento de biogás na Europa, entretanto, previa-se

a operação ao final de 2006 de 1000 estações na Alemanha, 100 na Suíça e mais de 50 na Áustria (PERSSON et al., 2006 apud ZANETTE 2009). Entretanto, o país mais avançado nesse campo é a Suécia, com 779 ônibus e mais de 4500 automóveis abastecidos com biogás (EC, 2007 apud ZANETTE 2009).

Ainda, conforme Zanette (2009), antes da utilização do biogás como combustível veicular o nível de CO<sub>2</sub> deve ser reduzido. Embora seja tecnicamente possível rodar um veículo com biogás sem remover o CO<sub>2</sub> se o motor for especialmente ajustado para isso, existem diversas razões para a remoção do biogás. A remoção do CO<sub>2</sub> aumenta o poder calorífico do gás, resultando em um aumento da autonomia do veículo para uma determinada capacidade de armazenamento. Além disso, resulta em uma qualidade do gás consistente entre as diferentes plantas de biogás e similar à qualidade do gás natural.

### 2.3. BIODIGESTOR

Um biodigestor nada mais é que um reator, no qual as reações químicas têm origem biológica. O biogás produzido depois de purificado é queimado em flares ou usado em grupos co-geradores, produzindo, assim, energia elétrica e energia térmica. (LAMAS, 2007 apud ZILOTTI, 2012).

O uso de biodigestores para o tratamento principalmente de dejetos de animais é amplamente disseminado em todo o mundo, com plantas tanto em países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento. Nas comunidades rurais, as unidades de pequena escala predominam (IEA, 2005 apud ZANETTE, 2012).

Nos países desenvolvidos, as plantas de digestão anaeróbica em fazendas são geralmente maiores e o gás é utilizado para produzir calor e eletricidade. Essas unidades são constituídas de tanques agitados que utilizam longos períodos de retenção para proporcionar o tratamento necessário.

Na Europa, dois tipos de sistemas predominam: o chamado digestor com topo de borracha e o digestor de topo de concreto, geralmente construído no solo. Ambos possuem formato cilíndrico com uma razão altura/diâmetro de 1/3 a 1/4 e são tanques com mistura intermitente com tempo de retenção hidráulica do resíduo no digestor de 15 a 50 dias. (IEA, 2005 apud ZANETTE, 2012).

No Brasil os biodigestores são na sua maioria de forma simples com vários modelos hidráulicos, que podem pertencer a dois tipos: os biodigestores de fluxo

hidráulico contínuo e de fluxo hidráulico descontínuo (biodigestor de batelada) (CHERNICARO, 2001 apud ZILOTTI, 2012).

### 2.3.1.1. Biodigestor contínuo

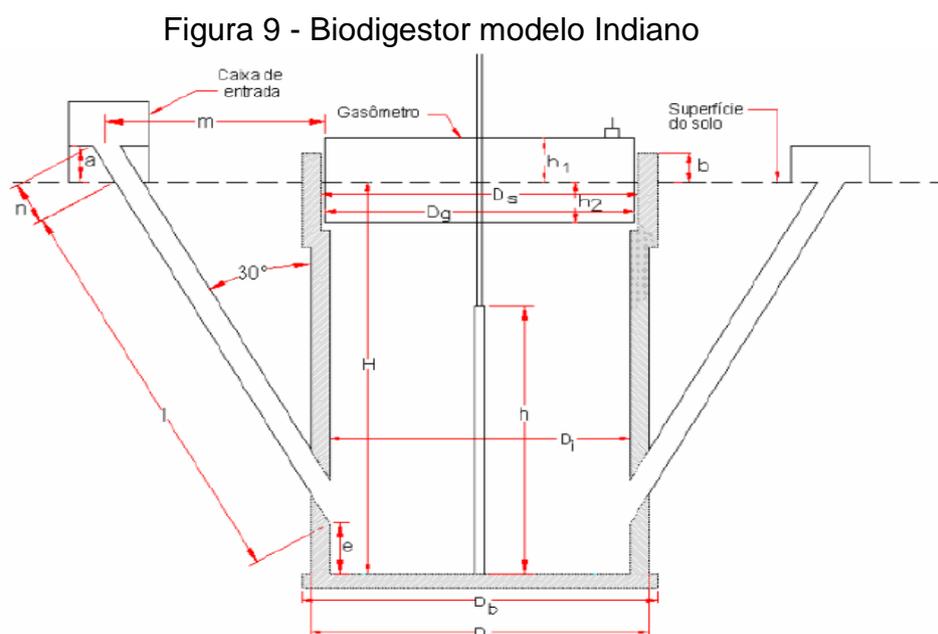
Os biodigestores podem ser classificados de acordo com o fornecimento de gás, ou seja, contínuo que quando corretamente operados oferecem gás permanente.

#### 2.3.1.1.1. Biodigestor tipo indiano

O biodigestor possui uma campânula como gasômetro e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória é fazer o material circular por todo o interior da câmara de fermentação.

Segundo Barrera (2003) apud Zilotti (2012), foi desenvolvido na Índia, a partir de 1937 e teve seu modelo mais conhecido, de cúpula móvel, lançado por Patel, em 1950. Foi um dos primeiros biodigestores de alimentação contínua a ser amplamente divulgado no ocidente, ainda o modelo indiano é o mais usado no Brasil devido à sua funcionalidade.

A figura 9 apresenta o biodigestor indiano em detalhes, em um desenho em escala para melhor entendimento.

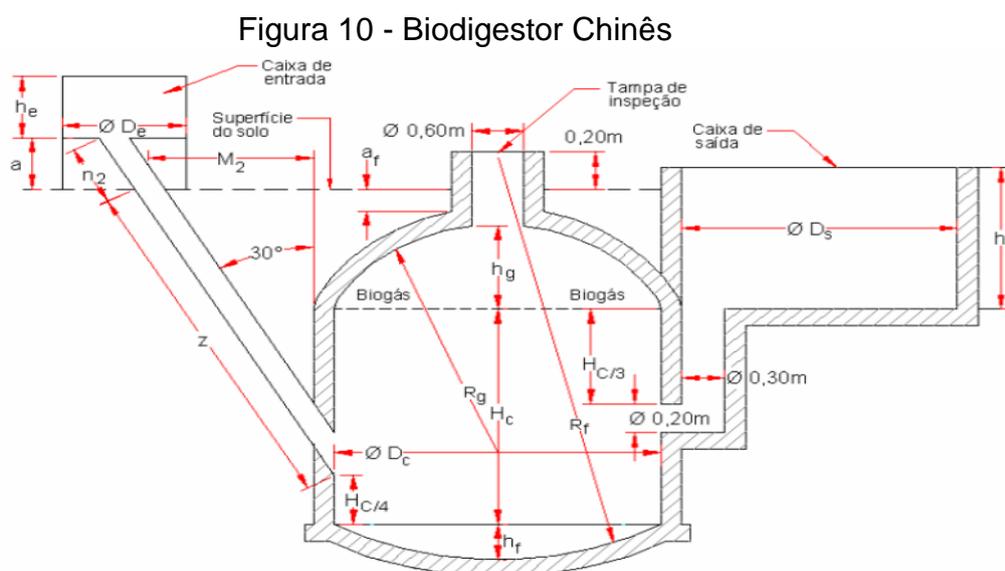


Fonte: Portes (2005) apud Zilotti (2012)

### 2.3.1.1.2. Biodigestor tipo chinês

Conforme Oliveira (2009), este tipo de biodigestor não apresenta partes moveis (gasômetro/cúpula) como o tipo Indiano, sendo construído de uma única câmara formada por uma única peça. Por esta razão, é construído abaixo do nível do solo e pode ser construído em alvenaria ou concreto.

A Figura 10 mostra um biodigestor modelo chinês, em escala.



**Fonte:** Portes (2005) apud Zilotti (2012)

Ainda conforme Oliveira (2009), opta-se pela utilização de biodigestores tipo chinês em instalações de pequeno e médio porte, onde a produção de biogás é alta. Isso se deve ao fato de que uma parcela do gás formado é liberada para a atmosfera com a intenção de reduzir parcialmente a pressão interna do gás.

### 2.3.1.1.3. Biodigestor tipo canadense ou Marinha Brasileira

O biodigestor modelo canadense, Figura 11, é um modelo tipo horizontal, apresentando uma caixa de carga em alvenaria e com a largura maior que a profundidade, possuindo, uma área maior de exposição ao sol, o que possibilita uma grande produção de biogás, evitando-se entupimento (EMBRAPA, 1995 apud BARICHELLO, 2010). Durante a produção de gás, a cúpula do biodigestor infla porque é feita de material plástico maleável (PVC), podendo ser retirada.

Figura 11 - Modelo canadense de biodigestor

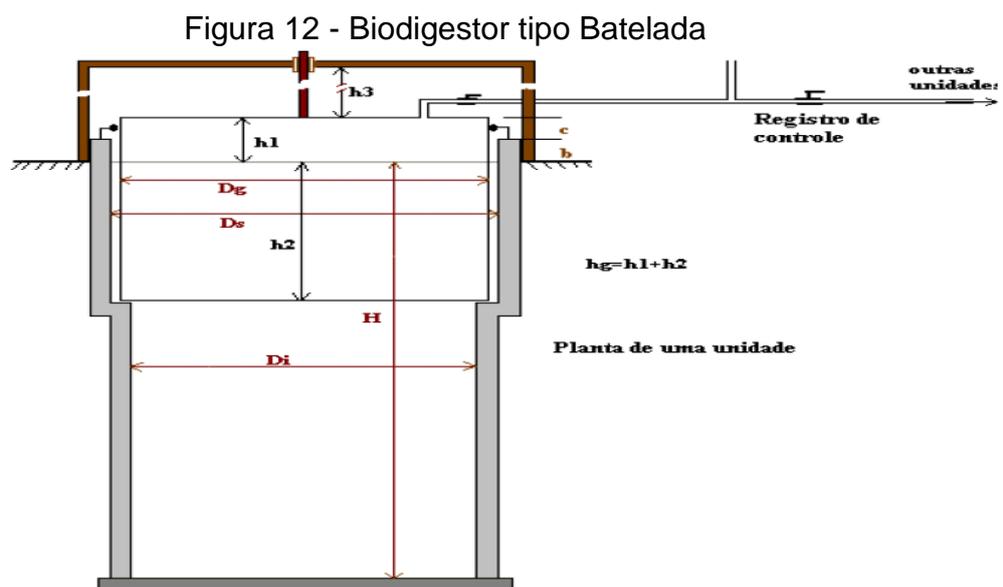


Fonte: Barrichello (2010)

Neste modelo precisa-se instalar um sistema com lastro para regular a pressão do gás. Sua utilização é recomendada para locais onde predominem temperaturas altas e constantes. Em regiões frias estes biodigestores podem ser equipados com um sistema de aquecimento e protegidos do vento.

### 2.3.1.2. Biodigestor tipo batelada

O biodigestor de batelada é do tipo descontínuo, conforme a Figura 12 não tem abertura para entrada e saída dos dejetos, pois são carregados uma vez e mantidos fechados por um período determinado, depois de abertos são descarregados (CETESB, 2006 apud Johann (2012, p. 22)).



Fonte: Oliveira (2009)

Este tipo de biodigestor também pode ser construído em alvenaria, concreto ou aço. A instalação desse tipo de biodigestor, devido as suas características, pode ser feita com a utilização de somente um tanque ou vários tanques em serie (OLIVEIRA, 2009).

## 2.4. CONVERSÃO ENERGÉTICA DE BIOGÁS EM ENERGIA ELÉTRICA

Destacam-se os motores de combustão interna (ciclos Otto e Diesel) e as turbinas a gás e para a conversão energética do biogás em energia elétrica. São comparadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Tecnologia para geração de energia a partir do biogás

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens
Motor de Combustão Interna	Baixo custo de manutenção	Limitação de potência
	Pequeno tamanho de instalação	
	Rápida Instalação	
	Modularidade do Sistema	
	Diversidade de fornecedores de equipamentos	
	Eficiência em carga total e parcial	
Turbinas a gás	Sem formação de condensados	Investimento inicial elevado
	Maior confiabilidade mecânica	Maior sensibilidade a partículas e impurezas
	Combustão mais completa	

Fonte: MMA (2005)

De acordo com Abreu (2009), para geração de energia a capacidade pequenas e medias, os motores a combustão interna são mais adequados devido ao seu menor custo e maior eficiência nesta faixa. Somente para altas capacidades, as turbinas a gás passam a ter economicidade, melhorada quando utilizadas em ciclos combinados.

### 2.4.1. Motores de combustão interna

O motor de combustão interna é assim chamado por produzir energia mecânica queimando uma mistura de vapor e combustível dentro de um cilindro.

Os motores de combustão interna têm as suas peculiaridades perante o uso do biogás, os de ciclo Otto necessitam de pequenas modificações para poderem utilizar o biogás como combustível. Porém, não são os mais indicados para geração de eletricidade. O mais apropriado é o de ciclo Diesel, pela sua maior robustez e menor custo para uma mesma potência, comparado ao de ciclo Otto. A introdução de biogás nos de ciclo Diesel pode ser obtida mediante duas tecnologias: a ottolização e a conversão bicombustível diesel/gás (PEREIRA, 2005 apud PRATI, 2010, p. 34).

Na ottolização, grandes modificações nos motores são necessárias. Todo o sistema de injeção de Diesel é retirado e, em seu lugar, instala-se um sistema de carburação do gás ao ar de admissão e o sistema elétrico com velas para a ignição, que passa a ser feita por centelha. Também são necessárias modificações nos cabeçotes dos motores para a adequação de sua taxa de compressão, já que motores do ciclo Otto trabalham com taxas de compressão inferiores aos motores Diesel. Não são raras perdas de potência e performance de um motor ottolizado (SOUZA; et al apud PRATI, 2010, p. 34 e 35).

Na operação bicombustível (diesel e biogás) em motores de ciclo Diesel, o gás é introduzido juntamente com o ar na fase de admissão, e a ignição é efetuada por uma pequena injeção-piloto de diesel para proporcionar a ignição por compressão, dando início à combustão do gás que é admitido no cilindro pelo coletor de admissão. Esse sistema apresenta a vantagem de não exigir modificações no motor (OBERT, 1971 apud PRATI, 2010, p. 35).

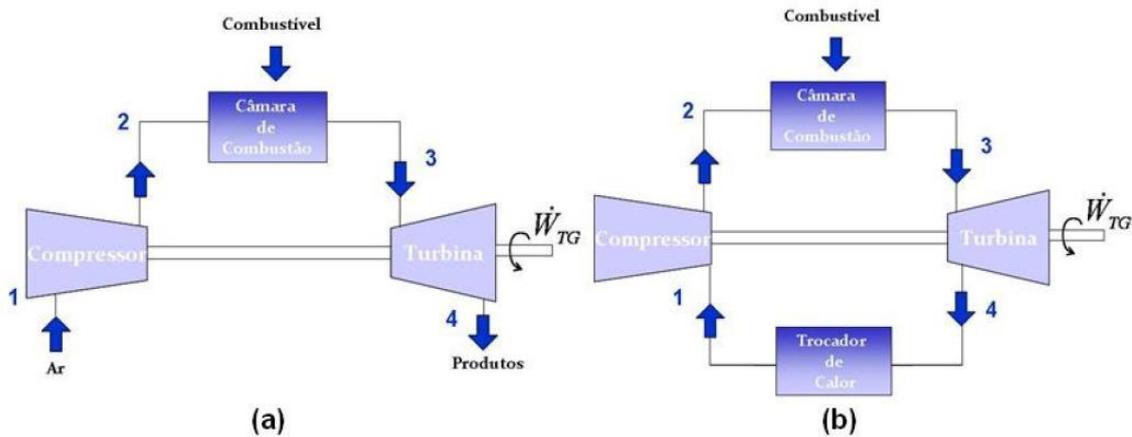
Segundo Diaz (2006) apud Figueiredo (2011), a qualidade de temperatura, pressão do biogás, eficiência e ponto de operação do motor influenciam diretamente o consumo específico do combustível (por unidade de energia mecânica produzida), sendo importante determinar o tempo de ignição da mistura, além das características apropriadas do combustível.

#### **2.4.2. Turbinas a gás**

De acordo com Figueiredo (2011), as turbinas a gás podem ser classificadas, de acordo com o ciclo de operação, em ciclo fechado e ciclo aberto, sendo o último, o mais comum. O modo aberto é ilustrado na Figura 13a, onde o fluido de trabalho é comprimido (no compressor) elevando-se pressão. Este processo não tem nenhum calor adicionado, visto que o compressor, em condições ideais, opera em regime

adiabático, fazendo com que o trabalho de compressão aumente a temperatura do ar: este então entra na câmara de combustão e, em contato com o combustível, reage, iniciando o processo de queima.

Figura 13 - Turbina a gás: (a) circuito aberto – processo real de combustão interna; (b) circuito fechado – aproximação por um processo ideal de transferência de calor



Fonte: Figueiredo (2011)

Os gases resultantes da combustão, à elevada temperatura, expandem-se na turbina gerando energia mecânica, além de acionar o compressor. O trabalho útil produzido é calculado pela diferença entre o trabalho da turbina e o consumido pelo compressor. No ciclo fechado, Figura 13b, os gases que deixam a turbina passam por um trocador de calor onde sofrem resfriamento para entrar novamente no compressor (MORAN; SHAPIRO, 2002 apud FIGUEIREDO 2011). Já a configuração de ciclo fechada apresenta, portanto o melhor aproveitamento do calor, a possibilidade de operação em pressões elevadas e é utilizado somente em instalações de grande porte (COSTA et. al, 2003 apud FIGUEIREDO 2011).

### 3. METODOLOGIA

A metodologia relacionada na execução desse presente trabalho é de natureza aplicada e tendo como objetivo exploratória já que faz um estudo de caso com uma pesquisa em campo. Também, estão aplicadas algumas das técnicas da metodologia relacionada.

#### 3.1. MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS

Na realização deste trabalho, optou-se pela metodologia com natureza do tipo aplicada, pois gera conhecimentos e possui resultantes das ações imediatas.

Quando a metodologia tem como objetivo exploratória que conforme Gil (2002) é definido como “objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições”.

Outro aspecto sobre a metodologia, é que seu procedimento de estudo se aproxima do tipo estudo de caso com uma pesquisa em campo, que ainda conforme Gil (2002) se caracteriza por “[...] estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento, tarefa praticamente impossível mediante outros procedimentos”.

A técnica utilizada para dar sequencia as delimitações da metodologia, aplicaram-se cinco procedimentos em uma forma de sequencia, onde é apenas possível passar para o próximo procedimento, caso o anterior seja sido realizado. Os cinco procedimentos foram distribuídos:

O primeiro se realiza uma entrevista informal junto à propriedade, para conhecer as instalações e obter as informações da quantidade de suínos em situação de terminação (engorda), ciclo do lote e a quantidade media de energia elétrica utilizada durante o período dos últimos 12 meses.

O segundo se realiza um *benchmarking*<sup>3</sup> para encontrar junto às empresas um equipamento biodigestor com melhor custo-benefício, pois tem a função de armazenagem do gás metano antes da queima junto ao motor-gerador. Esse

---

<sup>3</sup> **Benchmarking** é um processo de comparação de produtos, serviços e práticas empresariais, e é um importante instrumento de gestão das empresas. O *benchmarking* é realizado através de pesquisas para comparar as ações de cada empresa.

procedimento apenas se realiza, conhecendo as instalações da propriedade, devido à demanda de espaço para a construção e ainda a quantidade de biogás diário gerado pelos suínos.

O terceiro procedimento se realiza um *benchmarking* para encontrar junto às empresas um equipamento motor-gerador com melhor custo-benefício, pois tem as funções de queimar o gás metano junto à câmara de combustão do motor e gerar energia elétrica através do gerador que se encontra acoplado ao motor por um sistema de união. Esse procedimento apenas se completa, quando se conhece a quantidade de gás metano gerado por hora e conseqüentemente o período de horas que o motor vai poder manter em funcionamento em um dia.

O quarto procedimento se realiza uma pesquisa junto a ANEEL, RGE e a COPEL – distribuidora de energia elétrica pioneira e referência no Brasil -, para verificar se existe a real possibilidade de injetar a energia excedente na rede de energia elétrica.

O quinto e último procedimento calcula-se a viabilidade econômica e qual é o tempo de retorno sobre o investimento do projeto. Esse procedimento apenas se completa obtendo-se os valores de todos os equipamentos, custos que envolvem a implementação e manutenção de uma planta de biodigestão.

## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1. ESTUDO DE CASO – GRANJA SECCHI

Realiza-se um estudo de caso na propriedade do Sr. Arnaldo Secchi, Figura 14, conforme entrevista informal realizada junto a propriedade (Apêndice A), está localizada em Lajeado Alvorada, município de Humaitá, nas Coordenadas - latitude: -27 34' 32,89967", longitude: -54 02' 06,48466" e altitude: 241,89m (Informações do Datum WGS 1984 (GPS)) -, no noroeste do Estado do Rio Grande de Sul. A propriedade possui uma área de 25,4 hectares, utilizada para a terminação (engorda) de suínos, produção de leite e plantação.

Figura 14 - Propriedade do estudo de caso.



Fonte: Autor

Com base nessa propriedade, será realizado o estudo de viabilidade técnica e econômica para geração de energia elétrica através do biogás gerado por biodigestor.

### 4.2. CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Com os dados obtidos junto à propriedade com o proprietário, tem-se a quantidade de suínos que é 2100 animais, o ciclo do lote dos suínos é em média 115 dias – 100 dias o período de maturação e 15 dias o período de limpeza e

repouso dos pavilhões. Já a quantidade média de energia elétrica gasta nos últimos 12 meses é de R\$ 500,00, isso equivale a 1860 KWh (quilowatt-hora).

Segundo estudos realizados por Farret (2010) apud Johann (2012, p. 32), para uma decomposição anaeróbica ideal dos dejetos dentro de um biodigestor a temperatura correta é de 35 ° C.

De acordo com Lima (2007) apud Johann (2012, p. 32), que comparou a produção de biogás variando as temperaturas internas do biodigestor de 35° C para 20° C e obteve uma redução de 30% na produção de biogás com a temperatura menor.

Na região noroeste do Rio Grande do Sul, local onde o trabalho é realizado, tem-se um clima temperado do tipo subtropical, o que não nos favorece muito a biodigestão, pois as temperaturas médias anuais variam entre 15 °C e 18 °C, com mínimas de -10 °C e máximas de 40 °C. (ATLAS SOCIECONOMICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2012 apud JOHANN, 2012).

Ainda segundo Farret (2010) apud Johann (2012) para cálculos da capacidade de produção de biogás na propriedade podem-se usar as equações mencionadas na sequência:

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

Onde:

T = Total de Gás produzindo por um animal por dia (m<sup>3</sup>/dia)

m = Massa de dejetos produzido por um animal por dia (Kg)

f = Quantidade de gás gerado por 1 kg de dejetos para cada espécie (m<sup>3</sup>).

$$T1_{\text{gás/dia}} = T_{\text{gás/animal}} \times N$$

Onde:

T1 = Quantidade de gás diário gerado na propriedade (m<sup>3</sup>/dia)

N = Número de animais da propriedade

#### 4.2.1. Memorial de cálculo da produção de biogás

Para cálculos da capacidade de produção de biogás na propriedade será levando em conta a Quadro 1, de produção de biogás de acordo com a quantidade de dejetos produzido por um animal por dia.

Quadro 1 - Produção de dejetos/biogás/animais

Material (Esterco)	Kg de dejetos/dia	M <sup>3</sup> de gás/kg de dejetos	M <sup>3</sup> de gás/animal/dia
Aves	0.09	0.055	0.0049
Bovinos	10.00	0.040	0.4000
Equinos	6.50	0.048	0.3100
Ovinos	0.77	0.070	0.0500
Suínos	2.25	0.064	0.1400

Fonte: Farret (2010), p. 126 apud Johann (2012), p. 26.

Analisando os dados do Quadro 1 pode-se presumir que para obter um metro cúbico (1m<sup>3</sup>) de biogás proveniente de dejetos suínos necessita-se de 15,6 quilogramas (kg) de dejetos, pois um suíno produz em média 2,25 kg de dejetos por dia e 1 Kg de dejetos produz aproximadamente 0,064 m<sup>3</sup> de gás por dia.

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

$$T_{\text{gás/animal}} = 2,25 \times 0,064$$

$$T = 0,144 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Cada suíno produz em média 0,144 m<sup>3</sup> de gás por dia, para obter a quantidade total da propriedade é só multiplicar esse valor pela quantidade de suínos nela existente, que no caso, 2100 unidades.

$$T1_{\text{gás/dia}} = T_{\text{gás/animal}} \times N$$

$$T1_{\text{gás/dia}} = 0,144 \times 2100$$

$$T1 = 302,4 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Conforme Lima (2007) apud Johann (2012), os fatores climáticos precisam ser levados em consideração. Nesse estudo, a quantidade de gás diário gerado na

propriedade, devem-se ser diminuídos em 30%, isso dará uma margem maior de confiabilidade no que se diz a respeito ao dimensionamento do gerador a ser utilizado.

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

$$T1_{\text{gás/dia}} = T1 \times 0,7$$

$$T1 = 211,68 \text{ m}^3/\text{dia}$$

#### 4.3. EQUIPAMENTO BIODIGESTOR

Após contato obtido via telefone e e-mails com algumas empresas, a empresa Brasmetano Indústria e Comércio LTDA de Piracicaba, São Paulo, que desenvolve trabalhos na área de biodigestores e motor-gerador, através de seu correspondente da área de Engenharia e Sistema, Gryscek (2014) relata que:

“No momento, vários processos, inclusive o de biodigestores mais o moto geradores, foram temporariamente descontinuados, portanto estamos sem condições técnicas de lhe atender. Aguardaremos cenários mais favoráveis para retomarmos estes assuntos” e que o motivo “não se trata de questão interna da empresa e sim de indefinições do governo que levaram a indefinições dos empresários. O desafio não é a tecnologia, mas da implementação de políticas públicas pertinentes, tal como em países sérios. Na Alemanha, por exemplo, estão chegando a 6000 termoelétricas a biogás. Não há viabilidade econômica no Brasil, por que não há planejamento estratégico do governo, com a formação de leilões de energia deste tipo para conectar ao SIN – Sistema Interligado Nacional”.

A empresa Replast Impermeabilizações Ltda de Guarulhos, São Paulo, que desenvolve trabalhos com biodigestores, através de seu correspondente da área comercial disponibilizou um orçamento de um sistema de biodigestor. O sistema de biodigestor é formado por dois biodigestor de tubulares (tipo Canadense) de 5 m de diâmetro e 20 m de comprimento o material é PVC de 1 mm de espessura e em condições perfeitas (temperatura, intensidade de sol, qualidade dos dejetos e etc) tem capacidade de gerar até 315 m<sup>3</sup>/dia de biogás. O valor total do sistema de biodigestor é de R\$ 49.686,57, informações detalhadas do orçamento em Anexo A.

#### 4.4. EQUIPAMENTO MOTOR-GERADOR

Após contato obtidos via telefone e e-mails com algumas empresas, a empresa Biogás Motores Estacionários de Toledo, Paraná, disponibilizou uma “proposta para aquisição” sobre um motor-gerador Modelo GGB 40 KVA BIOGÁS. Como a quantidade de gás diário gerado pela propriedade é de 211,68 m<sup>3</sup>/dia de “combustível”, o motor-gerador tem capacidade de trabalhar até 20 horas/dia. O valor total do equipamento motor-gerador é de R\$ 45.000,00 informações detalhadas do orçamento em Anexo B.

Figura 14 - Conjunto motor-gerador



**Fonte:** Biogás Motores

Ainda, a empresa comentou quando a concentração do H<sub>2</sub>S (Gás Sulfídrico) presente no biogás é acima de 200 PPM (0,02%) inviabiliza a utilização do biogás em motores a combustão, sendo que nesta aplicação será necessária a instalação de um sistema de filtragem para retirada do H<sub>2</sub>S. Esse sistema custa R\$15.000,00.

#### 4.5. POSSIBILIDADE DE INJETAR A ENERGIA EXCENTE NA REDE

Para saber a possibilidade de injetar a energia elétrica excedente na rede, buscou informações junto a ANEEL, a Companhia Elétrica RGE e a Companhia Elétrica COPEL.

Também, tem-se o conhecimento do Projeto de Lei 6559/13, do deputado Pedro Uczai (PT-SC):

Referem-se especificamente à exploração das atividades econômicas de geração de energias com biogás originado do tratamento sanitário de resíduos e efluentes orgânicos, em especial os gerados em atividades de produção agropecuária e agroindustrial de que tratam a Lei 12.187/09.

Segundo a proposta, as energias geradas com biogás, ou qualquer outra aplicação com seus gases componentes, serão isentas de tributação e não poderão receber qualquer tipo de subsídio sobre os preços das energias.

O texto ressalta que o biogás produz “ganhos ambientais significativos ao reduzir a poluição das águas e as emissões de gases do efeito estufa e contribuir também para o alcance das metas de redução de emissões brasileiras”.

As atividades geradoras de biogás serão reguladas e fiscalizadas pela União e poderão ser exercidas por produtores rurais, cooperativas agroindustriais, indústrias, empresa ou consórcio de empresas constituídas sob as leis brasileiras, com sede e administração no País (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2014).

#### **4.5.1. Junto a ANEEL**

Conforme informações junto ao site da ANEEL (2014), desde 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou fonte com elevada eficiência energética - com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada - e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Trata-se dos microgeradores, são aqueles com potência instalada menor ou igual a 100 quilowatts (kW), e os minigeradores, aqueles cujas centrais geradoras possuem de 101 kW a 1 megawatt (MW).

Ainda ANEEL (2014), a energia excedente produzida e repassada para a rede, gera-se um “crédito de energia” que será posteriormente utilizado para abater seu consumo. O saldo positivo desse crédito de energia não pode ser revertido em dinheiro, mas pode ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário (ponta/fora ponta), quando aplicável, em outra unidade consumidora (desde que as duas unidades estejam na mesma área de concessão e sejam do mesmo titular) ou na fatura do mês subsequente. Os créditos de energia gerados continuam válidos por 36 meses.

#### 4.5.2. Junto a RGE

A RGE é a distribuidora de energia elétrica da região norte-nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, dessa forma, fornece a propriedade que está sendo realizando o estudo, conforme informações obtidas através do site e contato via e-mail, segue:

Consta no site, legislações básicas sobre os possíveis Microgeradores e Minigeradores de energia, respaldando o que é Microgeração e Minigeração distribuída, Sistema de compensação de energia elétrica, como fazer a Solicitação de acesso e Parecer de acesso (Viabilização do Acesso, Sistema de Medição para Faturamento e Etapas do Processo de Solicitação de Acesso) para fazer a conexão com a rede da companhia.

Ainda na mesma pagina do site da RGE no Parecer de acesso, em Sistema de Medição para Faturamento, consta que,

O sistema de medição atenderá às mesmas especificações exigidas para a Unidade Consumidora conectada no mesmo nível de tensão da central geradora, acrescido da funcionalidade de medição bidirecional de energia elétrica ativa.

O cliente é responsável por ressarcir a RGE pelos custos referentes às adequações do sistema de medição necessárias para implantar o sistema de compensação de energia elétrica, nos termos da regulamentação específica.

Após a adequação do sistema de medição, a RGE será responsável pela operação e manutenção do mesmo, incluindo os custos de eventual substituição ou adequação (RGE, 2014).

Com contato obtido via telefone com a RGE, sobre a questão “o cliente é responsável por ressarcir a RGE pelos custos referentes às adequações do sistema de medição necessárias para implantar o sistema de compensação de energia elétrica”, a mesma esclareceu que “cada projeto tem suas peculiaridades e os custos se obtém apenas depois de realizado as adequações”. Também, na mesma pagina do site da RGE no Parecer de Acesso, em Viabilização do Acesso, consta a norma técnica GED nº 15.303, para todos os requisitos técnicos da RGE, para a “Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica”. Essa norma técnica tem como finalidade,

Estabelecer os requisitos técnicos mínimos a serem implementados nas instalações elétricas de consumidores conectados às redes de média e baixa tensão das Distribuidoras da CPFL Energia e que desejam a elas ligar, de forma permanente, seus próprios sistemas de geração de eletricidade, nos termos regulamentados por meio da Resolução Normativa nº 482/2012, de 17/04/2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (CPFL ENERGIA, 2013).

### 4.5.3. Junto a COPEL

A COPEL é a maior empresa do Paraná e atua com tecnologia de ponta nas áreas de geração, transmissão e distribuição de energia, além de telecomunicações que integra todas as cidades do Estado do Paraná.

As informações obtidas junto ao site da empresa e conforme Arten (2009) são as assinaturas de contratos para compra de eletricidade produzida a partir da biodigestão de resíduos orgânicos. Informações detalhadas encontram no Anexo C, comprovam que no Brasil a prática da compra de eletricidade produzida a partir do biogás já realizada. Assim, servindo de modelo para as demais distribuidoras de energias, em especial a RGE.

## 4.6. VIABILIDADE ECONÔMICA

Antes de um projeto ser implantado é necessário uma análise de viabilidade econômica, para identificar se o mesmo é viável. Nessa perspectiva utiliza-se a descrita por Souza et. al. (2004) apud Coldebella (2006). Ainda, relatam que o custo está relacionado ao capital investido na construção e manutenção do biodigestor e do sistema motor-gerador. Conforme o Quadro 2, o custo total estimado é de R\$ 109686,57.

Para efeito de cálculo se utilizará uma taxa de desconto de 8% (usualmente aplicado em financiamento do governo para atividades agrícolas). Para os gastos de manutenção e operação será utilizado o valor estimado de acordo com as manutenções periódicas necessárias no conjunto motor-gerador que equivale a 2,2% do investimento total ao ano.

Tabela 5- Valor total estimado da planta

Descrições	Custos
Biodigestor	49686.57
Filtro	15000.00
Motor-Gerador	45000.00
TOTAL	109686.57

**Fonte:** Autor

Para determinar o custo da produção do biogás podemos utilizar a seguinte fórmula:

$$C_e = \frac{CAG + CAB}{PE}$$

Onde:

$C_e$  = Custo da energia elétrica produzida via biogás (R\$/kWh);

CAB = Gasto anual com o biogás (R\$/ano);

PE = Produção de eletricidade pela planta de biogás (kWh/ano);

CAG = Custo anualizado do investimento no conjunto motor-gerador (R\$/ano);

Em que:

$$CAG = CIG * FRC + \frac{CIG * OM}{100}$$

$$CAB = CB * CNB$$

Onde:

CIG = Custo de investimento do motor-gerador (R\$);

OM = Custo de operação e manutenção (%/ano);

CB = Custo de biogás (R\$/m<sup>3</sup>);

CNB = Consumo de biogás pelo conjunto motor-gerador (m<sup>3</sup>/ano);

Para calcular a produção de eletricidade (PE), utiliza-se a seguinte fórmula:

$$PE = Pot * T$$

Onde:

Pot = Potência nominal da planta (kW);

T = Disponibilidade anual da planta (horas/ano);

Para calcular o fator de recuperação de capital, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$FRC = \frac{j * (1 + j)^n}{(1 + j)^{n-1} - 1}$$

Onde:

FRC = Fator de recuperação de capital;

$j$  = Taxa de desconto (%/ano);

$n$  = Anos de amortização do investimento

Para calcular o custo do biogás, utiliza-se a seguinte fórmula:

$$CB = \frac{CAB}{PAB}$$

Onde:

CAB = Custo anualizado do investimento no biodigestor (R\$);

PAB = Produção anual de biogás (m<sup>3</sup>/ano);

$$CAB = CIB * FRC + \frac{CIB * OM}{100}$$

Onde:

CIB = Custo do investimento no biodigestor (R\$);

Para calcular a viabilidade de geração de energia elétrica, determinou-se o Tempo de Retorno de Investimento (TRI):

$$TRI = \frac{\ln\left(-\frac{k}{j-k}\right)}{\ln(1+j)}$$

Em que:

$$k = \frac{A}{CI} - \frac{OM}{100}$$

$$A = CI * \left(FRC + \frac{OM}{100}\right)$$

Onde:

CI = Custo de investimento no sistema biodigestor/motor-gerador (R\$);

A = Gasto anual com energia elétrica adquirida na rede (R\$/ano);

OM = Gastos com amortização e manutenção da planta (R\$/ano);

TRI = Tempo de retorno (anos).

#### 4.6.1. Memorial de cálculos para viabilidade econômica

- Calculo do fator de recuperação de capital;

Para a concepção do sistema de aproveitamento do biogás, o capital será oriundo de um financiamento do FINAME parcelado em 96 meses (8 anos).

$j$  = Taxa de desconto (%/ano) = 8% = 0,08

$$FRC = \frac{0,08 * (1 + 0,08)^8}{(1 + 0,08)^8 - 1}$$

$$FRC = 0,207$$

- Calculo do custo anualizado do investimento no conjunto motor-gerador;

Para encontrar o CIG na equação CAG, fez a somatória do valor do Motor-gerador mais o filtro, que corresponde a R\$ 60000. O valor de 2,2 corresponde às manutenções periódicas necessárias no conjunto motor-gerador que equivale a 2,2% do investimento total ao ano.

$$CAG = 60000 * 0,207 + \frac{60000 * 2,2}{100}$$

$$CAG = R\$ 13740/\text{ano}$$

- Calculo do custo produção de eletricidade;

Para encontrar o T na equação PE, foi levado em consideração a quantidade de gás diário gerado na propriedade multiplicado pela horas/dia que o motor-gerador vai trabalhar, que é aproximado há 20 horas.

$$PE = 40 * 6400$$

$$PE = 256000 \text{ kWh/ano}$$

- Calculo do custo anualizado do investimento no biodigestor,

$$CAB = 49686,57 * 0,207 + \frac{49686,57 * 2,2}{100}$$

$$CAB = 11378 \text{ R\$}$$

- Calculo do o custo do biogás

Para encontrar o PAB na equação CB, foi levado em consideração a quantidade de gás diário gerado na propriedade multiplicado pelos dias uteis anuais de geração, que é aproximado a 320 dias por ano.

$$CB = \frac{11378}{67738}$$

$$CB = 0,168 \text{ R\$/m}^3$$

- Calculo do gasto anual com o biogás

Para encontrar o CNB na equação CAB, foi levado em consideração a quantidade de dias que gera biogás no ano (320), multiplicando por 211,68 que é o consumo aproximado por dia de biogás pelo motor-gerador, já que vai trabalhar em torno de 20 horas/dia.

$$CAB = 0,168 * 67738$$

$$CAB = \text{R\$ } 11380/\text{ano}$$

- Calculo do custo da energia elétrica produzida via biogás

$$C_e = \frac{13740 + 11378}{256000}$$

$$C_e = 0,098 \text{ R\$/kWh}$$

- Calculo do gasto anual com energia elétrica adquirida na rede

$$A = 109686,57 * \left( 0,207 + \frac{25118}{100} \right)$$

$$A = 27573777$$

- Calculo do tempo de retorno de investimento

Para encontrar o OM na equação k, foi levado em consideração o custo anualizado do investimento no biodigestor (R\$ 11378,00) e somando com o custo anualizado do investimento no conjunto motor-gerador (R\$ 13740,00).

$$k = \frac{27573777}{109686,57} - \frac{25118}{100}$$

$$k = 0,207$$

- Calculo do Tempo de retorno (anos)

$$TRI = \frac{\ln\left(-\frac{0,207}{0,08 - (0,207)}\right)}{\ln(1 + 0,08)}$$

$$TRI = 6,35$$

Realiza-se uma “regra de três” sobre o valor da TIR, para transformar os números após a vírgula em meses. Dessa forma, o tempo de retorno é de aproximadamente seis anos e quatro meses.

## 5. CONCLUSÕES

A partir do objetivo geral, dos objetivos específicos e após as perspectivas detalhadas durante o desenvolvimento desse trabalho, desde a revisão bibliográfica até os valores finais, se conclui que a partir dos dados levantado junto à propriedade e com a revisão bibliográfica, pode-se calcular a capacidade de produção de biogás da propriedade, que é em torno de 211,68 m<sup>3</sup>/dia de biogás.

Na sequencia, conhecendo a capacidade de produção de biogás/dia, pode-se pesquisar um sistema para o biodigestor e para o motor-gerador, que se definiu para o biodigestor um sistema da empresa Recolast, que tem a capacidade de armazenar em torno de 315 m<sup>3</sup>/dia de biogás – com base da quantidade dos dejetos dos suínos da propriedade -, esse valor é superior a quantidade calculada (211,68 m<sup>3</sup>/dia), assim tem-se uma margem de segurança, já que pode armazenar mais biogás. Ainda, definiu-se um Grupo Gerador GGB 40 Kva (motor-gerador) da empresa Biogás Motores Estacionários, que utiliza em torno de 10 m<sup>3</sup>/hora de biogás, podendo trabalhar até 20 horas/dia.

No que se diz respeito à possibilidade de comercializar a energia excedente com a companhia que fornece a energia elétrica, a RGE apenas tange o que é definido na normativa ANEEL nº 482, assim, o excedente da energia elétrica gerada a mesma não compra, apenas disponibiliza a rede para injetar e tem-se o prazo de 36 meses para retirar. Um ponto positivo é que se pode utilizar essa energia excedente (que está na rede) em outro lugar (ex: empresa, residência particular) desde que seja o mesmo CNPJ/CPF do emissor e fique na mesma área de abrangência da companhia distribuidora. Tem-se conhecimento que a companhia distribuidora COPEL, ela faz a compra do excedente através de leilões de energia.

Na questão de viabilidade econômica, o tempo de retorno do investimento é de aproximadamente seis anos e quatro meses, de tal forma, sendo inferior ao financiamento do FINAME que tem o prazo de oito anos para ser liquidado. Então, com base em todos os aspectos apresentado, conclui-se que é viável nesse estudo de caso, a geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestor. Mas ainda é importante frisar - por ser uma tecnologia nova e em desenvolvimento no Brasil, pela falta de políticas públicas pertinente ao assunto e pela grande responsabilidade quando se diz a respeito de injetar a energia elétrica gerada na rede de distribuição – se vale a pena investir nas condições atuais, nessa forma de gerar energia elétrica, pois particularmente, considero os riscos de alto grau.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, F. V. **Análise de Viabilidade Técnica e Econômica da Geração de Energia Através do Biogás de Lixo em Aterros Sanitários**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Mecânica na área de concentração: Fenômenos de Transporte, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://www.ppgem.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2009/DISSERTACAOPPG-EM-FabioVianadeAbreu.pdf>>. Acesso em: 18 Nov. 2014.

ANEEL - Agencia Nacional de Energia. Brasília: Geração Distribuída, 2014. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=757>>. Acesso em: 06 Nov. 2014.

ANEEL - Agencia Nacional de Energia. Brasília: Matriz de energia elétrica, 2014. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoGeracaoTipo.asp?tipo=5&ger=Combustivel&principal=Biomassa>>. Acesso em: 13 outubro.

ARTEN, A. R. **Copel assina contratos para compra de eletricidade produzida com biogás**. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/bri02\\_09port/\\$FILE/bri02\\_09port.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/bri02_09port/$FILE/bri02_09port.pdf)>. Acesso em: 06 Nov. 2014.

BARICHELLO, R. **O uso de biodigestores em pequenas propriedades e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso da região noroeste do Rio Grande do Sul**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Produção, área de concentração em Qualidade e Produtividade, da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010. Disponível em: <[http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde\\_arquivos/12/TDE-2011-02-10T093205Z-3033/Publico/BARICHELLO,%20RODRIGO.pdf](http://cascavel.cpd.ufsm.br/tede/tde_arquivos/12/TDE-2011-02-10T093205Z-3033/Publico/BARICHELLO,%20RODRIGO.pdf)>. Acesso em: 12 Nov. 2014.

CARDOSO, M. L. **A Matriz Energética**. Disponível em: <<http://www.coladaweb.com/geografia/matriz-energetica>>. Acesso em: 13 nov. 2014.

CAMARA dos deputados. Brasília: Projeto fixa as normas para uso de biogás gerado pela agropecuária e agroindústria, 2014. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/CIENCIA-E-ECNOLOGIA/471887-PROJETO-FIXA-AS-NORMAS-PARA-USO-DE-BIOGAS-GERADO-PELA-GROPECUARIA-E-AGROINDUSTRIA.html>>. Acesso em: 06 Nov. 2014.

COLDEBELLA, Anderson. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Agrícola, Área de concentração em engenharia de Sistemas Agroindustriais, Universidade Estadual do Paraná, Cascavel 2006. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/biogas/file/docs/artigos\\_dissertacoes/coldedella.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/biogas/file/docs/artigos_dissertacoes/coldedella.pdf)> Acesso em: 16 nov. 2014.

ECO energia do Brasil – biogás e biometano. Santa Cruz do Sul: O que é biogás, 2014. Disponível em: <<http://www.eco-energia-brasil.com/index.php/topico/products-k2#>>. Acesso em: 04 nov. 2014.

EDER; B.; KRIEG; A.; **Biogas-Praxis (Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele, Wirtschaftlichkeit, Umwelt)**. 5º ed. Freiburg. Freiburg: Ökobuch, 2012.

FACHVERBAND Biogas e.V.. Freising: Biogasanlage in Könnern, 2014. Disponível em: <<http://www.biogas-kanns.de/links/Biogas-Atlas/Koennern/447d14/>>. Acesso em: 04 nov. 2014.

FIGUEIREDO, C. A biomassa no Brasil e o papel do CENBIO. Trabalho apresentado no 1ª Conferência das Renováveis à Eficiência Energética, 2012. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2014\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2014_Web.pdf)>. Acesso em: 22 out. 2014.

FIGUEIREDO, N. J. V. **Utilização do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás – estudo de caso.** 2007. Monografia (Bacharelado) – Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/download/publicacoes/Natalie.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar projeto de pesquisa.** 4ª edição. São Paulo: ATLAS, 2002.

GRYSCHKE, J. M. Re: Contato Brasmeto. Mensagem recebida por <[rafaelsecchi@yahoo.com.br](mailto:rafaelsecchi@yahoo.com.br)> em 25 nov. 2014.

JOHANN, C. V. **Dimensionamento de uma instalação para aproveitamento do biogás existente nas propriedades rurais.** 2012. Monografia (Bacharel) – Faculdade Horizontina, Horizontina, 2012. Disponível em: <[http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2012/Cristian\\_Denis\\_Johann.pdf](http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2012/Cristian_Denis_Johann.pdf)>. Acesso em: 29 Out. 2014.

KELMAN, J et. al. **Atlas de energia elétrica do Brasil.** Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2008. (Atlas Técnico, 3).

LOBÃO; E. et al. **Blanco Energético Nacional 2014.** Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2014\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2014_Web.pdf)>. Acesso em: 22 out. 2014.

MARION, E. Re: Novo orçamento + croqui + perguntas e respostas. Mensagem recebida por <[rafaelsecchi@yahoo.com.br](mailto:rafaelsecchi@yahoo.com.br)> em 25 nov. 2014.

MINISTERIO do Meio Ambiente. Brasília: Biomassa. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/biomassa>>. Acesso em: 13 outubro 2014.

NORMA Técnica. Caxias do Sul: Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica, 2013. Disponível em: <<http://sites.cpfl.com.br/documentos-tecnicos/GED-15303.pdf>>. Acesso em: 06 nov 2014.

OLIVEIRA, R. D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbica de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono.** 2009. Monografia (Bacharel) – Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgEKcAD/geracao-energia-eletrica-a-partir-biogas-produzido-pela-fermentacao-anaerobia-dejetos-abatedouro-as-possibilidades-no-mercado-carbono?part=5#>>. Acesso em: 06 nov 2014.

PRATI, L.. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores.** 2010. Monografia (Bacharelado) – Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, 2010. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/148.pdf>>. Acesso em: 04 nov. 2014.

QUASCHNING, V. **Erneuerbare Energien und Klimaschutz.** 3ª edição. Berlin: Carl Hanser Verlag München, 2008.

ROZAINEE; M. Renewable Energy Sources From Biomass Through Incineration. **The Ingenieur**, Malaysia, v. 37, n. 1, p. 13-21, maio 2008.

RGE. Caxias do Sul: Microgeradores e Minigeradores, 2014. Disponível em: <<http://www.rgers.com.br/Legisla%C3%A7%C3%A3oB%C3%A1sica/MicrogeradoresAcesso/tabid/379/language/en-US/Default.aspx>>. Acesso em: 06 nov 2014.

SOUZA, J. Re: Orçamento de motor-gerador. Mensagem recebida por <[rafaelsecchi@yahoo.com.br](mailto:rafaelsecchi@yahoo.com.br)> em 25 nov. 2014.

VOLKMANN, D. **Renewable Energies in Germany at a Glance**. Disponível em: <[http://www.ahkbrasilien.com.br/fileadmin/ahk\\_brasilien/download\\_dateien/meio\\_ambiente\\_eventos/Seminario/BMWi\\_Dirk\\_Volkmann\\_Der\\_Markt\\_fuer\\_Erneuerbare\\_Energien\\_in\\_Deutschland.pdf](http://www.ahkbrasilien.com.br/fileadmin/ahk_brasilien/download_dateien/meio_ambiente_eventos/Seminario/BMWi_Dirk_Volkmann_Der_Markt_fuer_Erneuerbare_Energien_in_Deutschland.pdf)>. Acesso em: 28 out. 2014.

ZANETTE, A. L. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no brasil**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <[http://ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/zanette\\_luiz.pdf](http://ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/zanette_luiz.pdf)>. Acesso em: 04 nov. 2014.

ZILOTTI, H. A. R. **Potencial de produção de biogás em uma estação de tratamento de esgoto de cascavel para a geração de energia elétrica**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Energia na Agricultura, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012. Disponível em: <[http://200.201.88.199/portalpos/media/File/energia\\_agricultura/pdf/Dissertacao\\_Helcio\\_A\\_Zilotti.pdf](http://200.201.88.199/portalpos/media/File/energia_agricultura/pdf/Dissertacao_Helcio_A_Zilotti.pdf)>. Acesso em: 04 nov. 2014.

## APÊNDICE A - ENTREVISTA INFORMAL REALIZADA JUNTO A PROPRIEDADE

Humaitá, 28 de Outubro de 2014

Perguntas para a entrevista informal junto à propriedade em estudo:

1- Qual o nome e quais as coordenadas (GPS) (latitude/longitude) onde se localiza a propriedade?

A propriedade se localiza em Lajeado Alvorada, Humaitá, nas coordenadas - latitude: -27 34' 32,89967", longitude: -54 02' 06,48466" e altitude: 241,89m (Informações do Datum WGS 1984 (GPS)).

2- Em quantos hectares é formada a propriedade?

A propriedade é formada por 25,4 hectares.

3- Quantos suínos a propriedade aloja atualmente?

Atualmente estão alojados 2100 suínos no sistema terminação. O ciclo do lote é em media 115 dias - 100 dias o período de maturação e 15 dias o período de limpeza e repouso dos pavilhões.

4- Qual o gasto médio mensal com energia elétrica na propriedade?

O gasto médio mensal com energia elétrica é de R\$ 500,00, isso equivale a 1860 KWh (quilowatt-hora).

5- Tens conhecimento sobre a possibilidade de geração de energia elétrica a partir do biogás que é proveniente dos dejetos suínos?

Sim, já vi na televisão que tem algumas propriedades no estado de Paraná que já estão produzindo e vendendo energia elétrica a companhia local.

6- Teria interesse em instalar uma planta de biodigestão em sua propriedade?

Sim, com certeza, pois sei que iria diminuir as moscas e o cheiro, já que as esterqueiras estão abertas, mas apenas investiria se conseguiria um financiamento no banco a longo prazo e ainda, a planta de biodigestão precisa ser economicamente viável, ela mesmo se pagando com a geração de energia elétrica, pois se tiver que tirar dinheiro de outro lugar (ex: do leite ou lavoura) não faria o investimento.

## ANEXO A – PROPOSTA DE PARA AQUISIÇÃO - EMPRESA RECOLAST IMPERMEABILIZAÇÕES LTDA



**ORÇAMENTO EXPRESS**  
 Av. Gaivota Preta, 201  
 CEP: 07124-700  
 Guarulhos / SP  
 Fone/Fax: 55 11 3437-7450  
 www.recolast.com.br

www.facebook.com/recolastambiental    www.recolast.com.br/blog

GRANJA DE SUÍNOS SECCHI  
 SANTA ROSA - RS  
 E-mail: rafaelsecchi@yahoo.com.br

A/C: RAFAEL SECCHI  
 Fone: +55 (55) 96706525 r.  
 Fax: +55 () r.

Número: 33284  
 Obra: BIODIGESTOR PARA 2100 SUINOS  
 TERMINAIS

DESCRIÇÃO	QUANT	UN	PREÇO UN	TOTAL
BIOD.TUBULAR(5 X 20) 405m3 (PVC 1mm estrut.)	2	PC	15.029,50	30.059,00
MANTA GEOTEXTIL	609	m2	3,85	2.344,65
LAGOA AEROBICA	676	m2	16,17	10.930,92
(obrigatorio) Valvula de alivio	2	un	250,00	500,00
Instalacao (diaria)	6	DI	750,00	4.500,00
(obrigatorio) Flange 6 polegadas	8	un	44,00	352,00
Flare (queimador)	2	un	500,00	1.000,00

**TOTAL GERAL:**

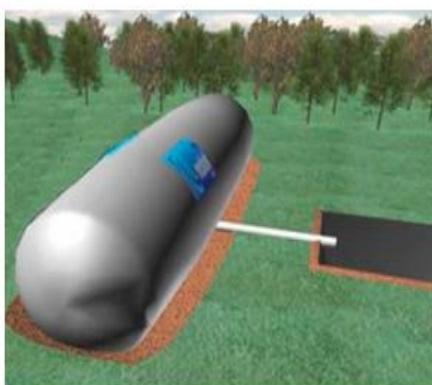
**R\$ 49.686,57**

## BIODIGESTOR TUBULAR

animal	quantidade	volume diário	litros fezes/ água	tempo retenção
suíno	2100term.	10500	21000	30
gado	0	0	0	55
cavalos	0	0	0	55
aves	0	0	0	60

Volume digestor	630	m3
volume biofertilizante	630	m3
volume alimentador	63	m3
volume de biogás	315	m3/dia

Biodigestor	diâmetro	5	M
	comprimento	45	M
	volume	900	m3
	área manta	758,75	m2
Tanque biofertilizante	volume	630	m3
	altura	1,5	M
	largura	21	M
	área manta	676,00	m2



POR CONTA DA RECOLAST	POR CONTA DO CLIENTE
<p>Fornecimento do material necessário. Pré-confecção dos módulos. Instalação do produto no local da obra. Ancoramento da geom. nas canaletas de fixação. Envio de equipe de instaladores (técnicos). Remessa do equip. de soldagem e de acab. (PFAFF/LEISTER) do tipo portátil. Garantia de 5 anos p/ milímetro de espessura. (vida útil de 10 a 15 anos).</p>	<p>Preparo da infra-estrutura. Local segura para guarda dos materiais. Mão de obra auxiliar (4 braçais). Fornecimento de energia elétrica (220v) no local. Transp. horizontal/vertical p/movim. das geom. Frete do material São Paulo - local da obra. Despesas com transporte, hosped. e aliment.</p>

### CONDIÇÃO DE PAGAMENTO:

Cartão de crédito em 3x sem juros

Data: 18/11/2014  
Validade da proposta: 30 dias.

#### Concordância do contratante:

( ) SIM. Concordo com todos os termos desse orçamento e autorizo o serviço.  
Nome / assinatura:

ERICA MARION

## ANEXO B – PROPOSTA PARA AQUISIÇÃO - EMPRESA BIOGÁS MOTORES ESTACIONÁRIOS



Toledo 07 de novembro de 2014

A/C Rafael

**Proposta para Aquisição de 01 Grupo Gerador GGB 40 kva - CÓDIGO FINAME 2456201**

### **1- Modelo GGB 40 KVA BIOGÁS**

Controle de Rotação Eletrônico com controle por sensor eletromagnético

Chassi com perfil U dobrado

Dimensões Altura /Largura/Comprimento 1200mm X 1000mm X 2000mm

Peso (Kg) 1.000 Kg

#### **1.1 GERADOR**

Marca WEG

Acoplamento Tipo rígido com flange

Grau de proteção IP-21

Numero de pólos 4

Rotação 1800 RPM

Frequência 60 Hz

#### **1.2 MOTOR**

Marca Ford 4.9

Combustível BIOGÁS

**Instalação:**

- A casa de máquinas e a tubulação de Biogás não fazem parte deste orçamento
- O biogás deverá apresentar concentração mínima de 60% de metano.

**Garantia:**

- Seis meses de garantia contra defeitos de fabricação ou 1000 horas de funcionamento a contar da partida.

- A garantia não cobre defeitos ocasionados pela operação acima dos limites nominais de funcionamento ou falta de manutenção recomendada.

- Estão excluídos da garantia os materiais de desgaste natural, como: correias, juntas, filtros, óleo, fusíveis, bobinas e retentores.

**TOTAL R\$ 45.000,00**

**Pagamento:** Na entrega

**Validade da Proposta:** 10 dias.

**Prazo de entrega:** 60 dias da data do fechamento.

**Frete:** Por conta do cliente

Atenciosamente

Eng. Juliano de Souza

**Biogás Motores Estacionários Ltda.**

Rua Raimundo Leonardi – Centro – Cep. 85900-110 – Toledo - PR - Brasil

Fone/Fax: (45) 3252 0833 [contato@biogasmotores.com.br](mailto:contato@biogasmotores.com.br) - [www.biogasmotores.com.br](http://www.biogasmotores.com.br)

## ANEXO C - CONTRATOS PARA COMPRA DE ELETRICIDADE PRODUZIDO POR BIOGÁS



**COPEL**  
Companhia Paranaense de Energia



### RI COPEL 02/09 - 20/02/2009

#### Copel assina contratos para compra de eletricidade produzida com biogás

A Companhia Paranaense de Energia – COPEL, em cumprimento ao disposto na Instrução CVM 358/2002, comunica ao mercado que firmou, no dia 03 de fevereiro de 2009, os primeiros contratos no setor elétrico brasileiro para aquisição de energia elétrica produzida a partir da biodigestão de resíduos orgânicos. São 6 contratos que totalizam potência de até 524 kW, energia suficiente ao atendimento de uma centena de moradias de padrão médio, que será fornecida por 4 produtores: Sanepar, Cooperativa Lar, Granja Colombari e Star Milk. Os contratos têm vigência até o final do ano de 2012.

A iniciativa pioneira tem respaldo em autorização concedida no final de julho de 2008 pela Aneel, como resultado de testes bem sucedidos feitos pela Copel – em parceria com a Itaipu.

Os ensaios e experiências tiveram início em 2007 com o propósito de reduzir impactos ambientais e estudar a viabilidade técnica e econômica de implantação de biodigestores em propriedades rurais dedicadas à suinocultura para, com o gás metano produzido pela decomposição da matéria orgânica coletada, gerar eletricidade para consumo na própria instalação e para venda de excedentes à Copel Distribuição através de geração distribuída.

Curitiba, 20 de fevereiro de 2009.

Atenciosamente,  
Antonio Rycheta Arten  
Diretor de Administração no exercício da  
Diretoria de Finanças, Relações com Investidores e de Controle de Participações

Para outras informações, entre em contato com a equipe de Relações com Investidores:  
[ri@copel.com](mailto:ri@copel.com) ou (41) 3222-2027