FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA

PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL E MEIO AMBIENTE

Potencial Experimental de Produção de Biogás em Equipamento de Pequena Escala com Utilização de Esterco Bovino

ÊNIO GOMES DA SILVA

Porto Velho (RO)

2013

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA

PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL E MEIO AMBIENTE

Potencial Experimental de Produção de Biogás em Equipamento de Pequena Escala com Utilização de Esterco Bovino

ÊNIO GOMES DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. Artur de Souza Moret

Dissertação de mestrado apresentada junto ao programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, para obtenção do Título de Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente.

Porto Velho (RO)

2013

ÊNIO GOMES DA SILVA

Potencial Experimental de Produção de Biogás em Equipamento de Pequena Escala com Utilização de Esterco Bovino

COMISSÃO EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. Valdir Alves Facundo

_____

Prof.ª Dr.José M. Carvalho Marta

_____

Prof. Dr. Artur de Souza Moret

Porto Velho,_____de_____de_____.

Resultado:_____

AGRADECIMENTOS

Aos professores do PGDRA, pela excelência do curso ofertado, em especial, ao Professor Dr. Artur de Souza Moret, por orientar e conduzir todo o processo acadêmico no mestrado.

Aos amigos e colegas do IFRO, pelo incentivo, apoio, compreensão e amizade.

Aos meus pais José Bonifácio e Iracema dos Nascimento.

Sumário

LISTA DE FIGURAS vii

LISTA DE GRÁFICOS viii

LISTA DE QUADROS ix

LISTA DE ABREVIATURAS x

RESUMO xi

ABSTRACT xii

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO 0

CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 5

2.1 Conceitos gerais de energia 5

2.1.1 Energia 5

2.1.2 Energia renovável 7

2.1.3 Energia gerada pela biomassa 8

2.1.4 Geração descentralizada 9

2.2- Potencial de insumo da bovinocultura 10

2.2.1 Bovinocultura no Brasil 10

2.2.2 Bovinocultura no Norte 10

2.3- Biodigestor 12

2.4- Modelos de biodigestores 15

2.5- Digestão anaeróbia 19

2.6- Fatores que influenciam a atividade anaeróbia 21

2.6.1-Influência da temperatura 21

2.6.2 Influência do PH 22

2.6.3 Nutrientes 22

2.6.4 Elementos tóxicos 23

CAPÍTULO 3: VISÃO BREVE DO BIOGÁS 24

3.1- Benefícios da biodigestão anaeróbica 25

3.2- Produção de biogás 25

3.3 Impactos ambientais e sociais 26

CAPÍTULO 4: PROCEDIMENTOS E MÉTODOS UTILIZADOS NESSA PESQUISA 28

4.1 Sistema de medição 30

4.2- Análises do biogás 32
4.2.1 Coleta da amostra 32
4.2.2 Determinação da amônia no biogás 32
4.2.3 Determinação de ácido sulfídrico (H_2S) 33
4.2.4 Determinação de gás carbônico (CO_2) 33
4.2.5 Determinação de metano (CH_4) 35
CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÕES 36
5.1 Produção de biogás 36
5.1.1 Resultados – 1 Equipamento 36
5.1.2 Resultados – 2 (Dois) Equipamentos 38
5.1.3 Resultados – 6 (Seis) Equipamentos 39
5.1.4 Potencial de produção de biogás 40
5.2 Concentração de amônia no biogás 43
5.3 Concentração de gás sulfídrico no biogás 43
5.4 Porcentagem de gás carbônico / metano no biogás 45
CAPÍTULO 5: CONCLUSÃO 47
REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS 49

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
	LISTA DE FIGURAS	Vii
Figura 1:	Processos de conversão energética	6
Figura 2:	Rebanho bovino – Estado	12
Figura 3:	Etapas do processo completo de biodigestão	14
Figura 4:	Modelo de biodigestor indiano	16
Figura 5:	Modelo de biodigestor chinês	17
Figura 6:	Modelo de biodigestor UASB	18
Figura 7:	Fluxograma do processo de produção do Biogás	19
Figura 8:	Biodigestor montado sob o solo	31
Figura 9:	Posições “A” e “B” indicadas no suporte para entrada, saída ou passagem do biogás.	33

LISTA DE GRÁFICOS

		Pág.
Gráfico 1:	Consumo de Combustível – 1973	7
Gráfico 2;	Rebanho Bovino – Regiões	10
Gráfico 3:	Quantidade de biogás X Dias de alimentação	38
Gráfico 4:	Número de biodigestores x Dias de alimentação	38
Gráfico 5:	Quantidade de biogás x Dias de alimentação	39
Gráfico 6:	Número de biodigestores x Dias de alimentação	39
Gráfico 7:	Quantidade de biogás x Dias de alimentação	40
Gráfico 8:	Número de biodigestores x Dias de alimentação	40
Gráfico 9:	Quantidade de biogás x dias de produção	41
Gráfico 10:	Quantidade de biogás x dias de produção	42
Gráfico 11:	Quantidade de biogás x dias de produção	42
Gráfico 12:	Concentração da amônia no biogás	43
Gráfico 13:	Concentração de gás sulfídrico no biogás	44
Gráfico 14:	Concentração de CO_2 e CH_4 no biogás	46

LISTA DE QUADROS

		Pág.
Quadro 1:	Composição do Biogás em porcentagem	24
Quadro 2:	Composição do Biogás e outros – Porcentagem x Kcal/m3	25
Quadro 3:	Coeficientes de produção animal de esterco e biogás	26
Quadro 4:	Produção de biogás diariamente	29
Quadro 5:	Média de produção de biogás por quantidade de equipamentos	37
Quadro 6:	Produção de biogás dos arranjos de número de biodigestores com alimentação de biodigestores	37
Quadro 7:	Concentração de gás sulfídrico no biogás	44
Quadro 8:	Concentração de amônia, gás carbônico e metano no biogás	45

LISTA DE ABREVIATURAS

GEE:	Gases do efeito estufa
CH_4:	Gás Metano
CO_2:	Gás Carbônico
H_2S:	Gás Sulfídrico
GPERS:	Grupo de Pesquisa de Energia Renovável e Sustentável
BG:	Biodigestor
PCH´S:	Pequenas Centrais Hidrelétricas
Cu:	Cobre
Cr:	Cromo
K:	Potássio
Ca:	Cálcio
Mg:	Magnésio
P	Fósforo

RESUMO

Este trabalho fundamenta-se no uso do composto orgânico - esterco - para fins energéticos, estimula uma análise, ainda que muito resumida, das oportunidades de seu uso na geração de energia elétrica, na indústria, no setor residencial e como combustível.

O aproveitamento dos resíduos tem como método o processo de digestão anaeróbia. Os tratamentos adequados do esterco dos animais podem trazer resultados importantes para a sociedade e para a atividade rural, visto que a digestão anaeróbia (comumente chamada de biodigestão) é uma tecnologia acessível e os resultados são positivos para o meio ambiente.

A biodigestão é a decomposição de matéria orgânica liberando com maior percentual o carbono na forma de metano CH_4 e dióxido de carbono CO_2 e outros gases liberados em menor proporção. Os resultados da pesquisa mostraram que, a produção de biogás foi significativa de acordo com a dimensão do equipamento. A operação do sistema é simples e a limpeza do biogás foi através do uso do arranjo utilizando limalha de ferro, obtendo percentual médio de 32% de eliminação do H_2S; destaca-se que esse gás é corrosivo e a eliminação é adequada para uso em motores, geração de eletricidade, gás para cocção ou processamento. Também é um resultado positivo o esquema proposto contendo: biodigestor de pequena escala com fácil operação e manutenção, e sistema de limpeza do H_2S com uso de limalha de ferro.

Palavras-chave: metano, gás carbônico, biogás, Rondônia, biodigestor.

ABSTRACT

This work is based on the use of organic compound – manure – for energetic purposes. This work also stimulates an analysis, although brief, of opportunities of the use of manure in the generation of electric energy, in industry, in homes and as fuel.

The use of waste is based on the method of anaerobic digestion process. The appropriate treatment of animal manure can bring important results to society and to rural activity, since anaerobic digestion (commonly known as biodigestion) is an accessible technology and its results are positive for the environment.

Biodigestion is the decomposition of organic matter liberating, in a greater percentage, carbon in the form of methane CH_4 and carbon dioxide CO_2, and other gases in a lesser proportion. The results of the research show that the production of biogas was significant, according to the dimension of the equipment. The operation of the system is simple and the cleaning of biogas was carried out using iron dusts, obtaining an average percentage of 32% of elimination of H_2S. It is important to highlight that this gas is corrosive and its elimination is adequate for the use in motors, generation of electricity, cooking or processing gas. Furthermore, the proposed scheme is a positive result, once it contains: biodigestor of small scale with easy operation and maintenance, and cleaning system of H_2S using iron dusts.

Keywords: methane, carbon dioxide, biogas, Rondônia, biodigester.

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

Com a preocupação do consumo energético e a expansão do homem no mundo, surge o problema da geração de energia, não sabendo qual a melhor fonte energética a ser implantada. O governo brasileiro, preocupado com a problemática energética ocorrida no século XX e XXI, começou investir no setor, lançando programas que incentivaram a geração de outras fontes alternativas de energia. Para incentivar a utilização de fontes alternativas, foi criada a Lei nº 10.438, de 2002, o PROINFA, a qual posteriormente foi revisada pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003. O objetivo principal do PROINFA é financiar, com suporte do BNDES, projetos de geração de energias, ou seja, diversificar o emprego de fontes alternativas de energia existentes no País, além de estimular a entrada de produtores no mercado. Já o PNPB tem como incentivo a obrigatoriedade da adição de um percentual mínimo de biodiesel ao diesel derivado do petróleo (TOLMASQUIM, 2003).

Os países desenvolvidos e os orgãos fiscalizadores ambientais estão tentando buscar soluções que tentem minimizar os problemas relacionados à poluição e o efeito estufa. Dados publicados pela AIE (2012) demonstram o avanço de outras formas utilizadas para geração energética e a redução da utilização do óleo para produção de energia.

Os países industrializados têm a problemática dos destinos de seus resíduos, principalmente na parte de seus produtos industrializados, sendo classificados de acordo com a densidade, classificando–os em resíduos sólidos e líquidos. Com a preocupação de aproveitar tudo o que é lançado na terra, surgiu a construção de locais que fazem o processo seletivo e depois da seleção esses resíduos vão para o chamado lixão. O Brasil é considerado um país bem diversificado na questão de resíduos, desde resíduo urbano até o agrícola. Isso exige que em cada região exista uma melhor forma de aproveitar determinada cultura para ter uma boa rentabilidade. No caso do estado de Rondônia predomina uma região imensa de pastagens, onde são criados gados de cortes, o estado é considerado um dos maiores produtores de rebanho bovino do Brasil. De acordo com os dados do IBGE, no ano de dois mil e onze (2011) o número de bovinos foi de aproximadamente 12 milhões, sendo assim também pode ser considerado um estado gerador de toneladas de resíduos, apresentando o esterco como o seu resíduo final. O esterco por ser um composto orgânico, no seu processo

de fermentação/decomposição libera os GEE, apresentado o metano como um dos principais poluidores junto com o gás carbônico.

A biomassa é considerada um resíduo sólido, sendo encontrada de diversas formas, tais como: restos de alimentos, resíduos de madeira, palha do arroz, bagaço da cana de açúcar, esterco de animais e entre outras formas. De acordo com ORTIZ (2005), biomassa é a matéria orgânica que pode ser utilizada como recurso energético a partir de diferentes processos: biomassa por queima, biogás por decomposição e biocombustíveis por extração e transformação.

A energia desempenha papel influenciador, positivo e negativo, nas dinâmicas econômica, social e ambiental da sociedade. As energias renováveis constituem um caminho para diminuir os impactos provocados pelo uso de fontes energéticas poluidoras e, sobretudo, porque pode impulsionar uma economia baseada em conceitos sustentáveis, autonomia, descentralização, tecnologias apropriadas, eliminação dos impactos ambientais, custos menores que, nessa proposta, constituem-se nos parâmetros teóricos balizadores (BELLAVER, 2000).

A pesquisa sobre o biogás aconteceu em Rondônia, no Grupo de Pesquisa de Energia Renovável e Sustentável - GPERS, sendo um espaço adequado para o desenvolvimento de energias renováveis com foco na biomassa, tais como: resíduos florestais e de madeira, resíduos agrícolas, dejetos de animais (esterco) e óleos vegetais. É importante destacar que há biomassa em abundância na Amazônia, tais como as oleaginosas que podem ser extraídas de forma sustentável e com potencial produtivo, o Babaçu, Bacuri, Buriti, bem como o esterco de animais, aves, bovinos, caprinos; destacando que o rebanho bovino já é grande se comparado com o total nacional, entretanto, o suíno, o ovino e os caprinos ainda são pequenos, mas com crescimento significativo. Essas atividades não findam apenas nos combustíveis, existindo produtos de valor significativo, tais como aqueles resultantes da atividade de produção de óleos que produzem alimentos, bem como da biodigestão que produz o biogás e o biofertilizante para a agricultura.

A pesquisa da produção do biogás através de esterco bovino justifica-se por gerar energia alternativa sustentável para Porto Velho, com equipamento de pequena escala, com baixo custo e com tecnologia apropriada proporcionando a produção e a análise da composição do biogás como subproduto. A utilização dos equipamentos de pequena escala é considera um fator importante por apresentar fatores específicos para a demanda, tais como: a

disponibilidade de esterco é descentralizada, potencial descentralizado e dimensionamento do equipamento para atender a demanda energética através da geração descentralizada.

Quando não ocorre o tratamento adequado dos compostos orgânicos, ocorre ao que chamamos das alterações climáticas, mas não é somente por este tipo de composto que gera poluição, as alterações climáticas que estão acontecendo são na sua maioria são causadas pelas emissões gasosas do GEE, um tema discutido mundialmente. Os principais GEE são: o metano (CH_4), SO_X, NO_X e o dióxido de carbono (CO_2), sendo que o metano é considerado o mais poluente entre os compostos, devido o mesmo poluir em 21 vezes mais que o CO_2. As principais obtenções ou fontes naturais do metano são as áreas alagadas como no caso do pantanal, arrozais, barragens, a digestão anaeróbia de dejetos de animais e resíduos orgânicos (PRAKASAN, 1987).

A proposta metodológica foi executada em etapas: A primeira etapa teve caráter exploratório, na qual se realizou a revisão bibliográfica, a segunda etapa é caracterizada pela montagem do biodigestor, a terceira etapa é caracterizada pela ativação de mais dois biodigestores, nesta etapa o abastecimento dos biodigestores foi realizado de modo que cada biodigestor utiliza-se 50kg de mistura homogênea (água + esterco) , a proporção se processa com 50% de cada substância totalizando 50 litros da mistura final, a quarta etapa foi realizada com a coleta do biogás (gasômetro) em bolsas específicas e pesadas na balança analítica, nesta etapa instalou o sistema de redução de gás sulfídrico no biodigestor, o sistema era composto por uma mangueira de borracha com um diâmetro de 6 mm, nessa mangueira foi adicionada a limalha de ferro numa altura de 7cm da conexão do registro (saída do biogás) até a entrada do gasômetro, a quinta etapa foi realizada a coleta do biogás, sendo analisados os paramêtros relacionados à quantidade de amônia, gás sulfídrico, porcentagem de metano (CH_4) e de gás carbônico (CO_2) na amostra.

Os resultados obtidos de produção, porcentagem de metano, porcentagem de amônia, porcentagem de gás carbônico e a redução de gás sulfídrico através da limalha de ferro no biogás demonstraram que o estado de Rondônia poderá ter um potencial para a produção.

Os objetivos desse trabalho são destacados como resultados mais gerais de serem alcançados. O objetivo geral é: implementar, testar e medir a produção de biogás de esterco bovino em equipamento de pequena escala. Os objetivos específicos são: instalar o sistema de produção de biogás no GPERS; montagem do sistema de limpeza do biogás; controlar, operar

e fazer manutenção de sistema de produção de biogás; instalar o sistema de coleta da amostra; analisar a composição do biogás; analisar a eficácia da limpeza do H_2S do biogás.

O texto está dividido em capítulos, mas completa o todo desse trabalho. No Capítulo 1 apresenta uma introdução geral sobre a dissertação trazendo os objetivos propostos da pesquisa, no Capítulo 2 da dissertação apresenta uma revisão bibliográfica sobre os conceitos gerais de energia, potencial da bovino cultural no estado de Rondônia, o conceito de biodigestores, digestão anaeróbia, os modelos de biodigestores, os fatores que influenciam a atividade anaeróbia, no Capítulo 3 visão breve do biogás, benefícios da biodigestão anaeróbia, os impactos ambientais e sociais da biodigestão e a produção de biogás por esterco bovino, no Capítulo 4 será apresentada a metodologia utilizada no pesquisa, no Capítulo 5 mostra os resultados da análise do biogás e no Capítulo 6 a conclusão da pesquisa.

CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conceitos gerais de energia

2.1.1 Energia

No século IV A.C., Aristóteles em sua obra Metafísica, identificava a energia como uma realidade em movimento. No entendimento moderno, energia corresponde essencialmente a um conceito desenvolvido a partir de meados do século XX, tendo sido criado juntamente com a termodinâmica e utilizado atualmente para descrever uma ampla variedade de fenômenos físicos. A definição mais usual afirma que energia é a capacidade de realizar trabalho, portanto pode ser descrita como o Trabalho[1] (W) é igual a variação entre a Energia Final (E_f) e Inicial (E_i). De acordo com Goldemberg e Villanueva (2003), esta definição não é correta e aplica-se apenas a alguns tipos de energia, como a mecânica e a elétrica que, em princípio, são totalmente conversíveis em outras formas de energia. Este modo de se definir energia perde o sentido ao ser aplicado ao calor, pois esta forma é apenas parcialmente conversível em trabalho e a outra é perdida no processo.

Em 1872, Maxwell propôs uma definição: energia é aquilo que permite uma mudança na configuração de um sistema, em oposição a uma força que resiste a essa mudança. Mostrando que a energia pode se apresentar de diversas formas, entre as quais se pode mencionar: energia de radiação, química, nuclear, térmica, mecânica, elétrica, magnética e elástica (COELHO, 1995).

Uma característica essencial da energia é sua capacidade de conversão. Isto é, uma forma de energia pode eventualmente ser convertida em outra, de forma a adequar-se a uma utilização desejada.

A relevância da energia se apresenta de diversas formas, entre as quais se destacam:

- Energia elétrica.
- Energia mecânica.
- Energia nuclear.
- Energia térmica.
- Energia química
- Energia magnética

---

[1] $E_f - E_i = W$

- Energia elástica.

A figura 1 mostra os principais processos de conversão de energia entre as formas mais comuns de energia.

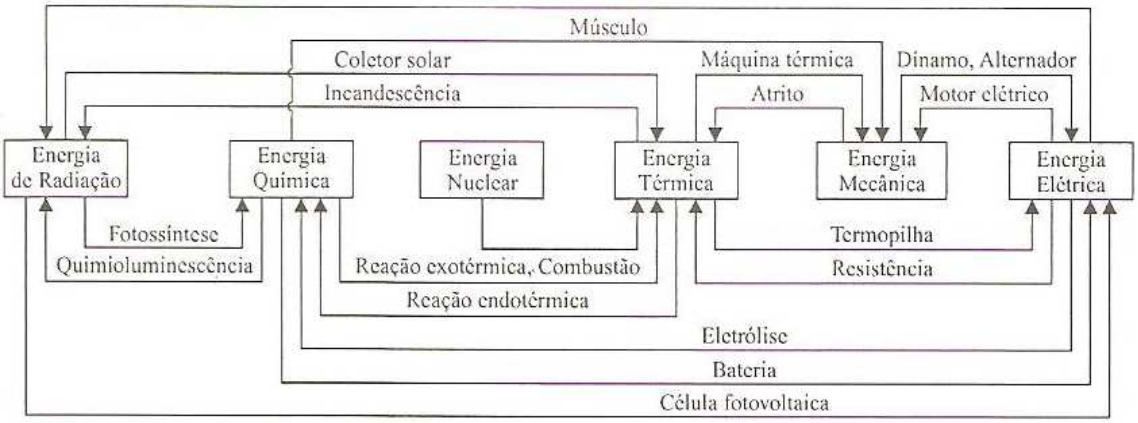


Figura 1 – Processos de conversão energética.
Fonte: Goldemberg & Villanueva, 2003.

Um conceito importante é a da potência, que corresponde ao fluxo de energia no tempo, de aplicabilidade, ao se tratar de processos humanos e econômicos, em que o tempo é essencial. De modo geral, estamos preocupados em atender uma dada demanda energética, medida em kWh, kJ ou kcal, mas sob uma imposição de tempo, ou seja, com dado requerimento de potência, analisada em kW.

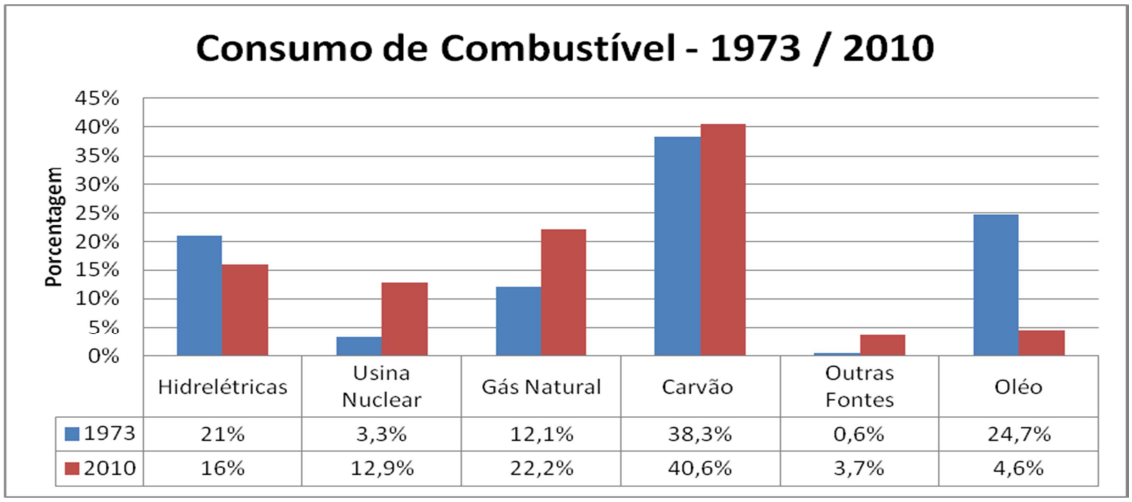
Potência[2] (P) é o trabalho (W) realizado por unidade de tempo (Δt) (GOLDEMBERG & VILLANUEVA, 2003):

$$P = W/\Delta t$$

De Acordo com os dados publicados pela AIE (2012), observa-se o crescimento da demanda energética no mundo, do ano de 1973 até 2010, observa-se o crescimento do consumo energético. Para atender tal demanda, são necessários os combustíveis que para geração de energia, analisando a o Gráfico 1, o óleo teve uma redução na sua utilização, e houve uma aumento na geração por outros. Ressaltando que a energia produzida em 1973 correspondia a 6.115 TWh e em 2010 foi 21.431 TWh.

[2] A unidade de potência é o watt, que é potência dissipada quando se gasta 1 joule em um segundo.

Gráfico 1: Consumo de Combustível – 1973



	Hidrelétricas	Usina Nuclear	Gás Natural	Carvão	Outras Fontes	Oléo
1973	21%	3,3%	12,1%	38,3%	0,6%	24,7%
2010	16%	12,9%	22,2%	40,6%	3,7%	4,6%

Fonte: Internacional Energy Agency, 2012.

2.1.2 Energia renovável

Com o crescimento das indústrias e do consumo de aparelhos eletrônicos, surge a preocupação de atender o aumento da demanda por energia no mundo. Isso implica em buscar e implantar novas fontes energéticas para suprir a necessidade de cada país.

As fontes energéticas podem ser classificadas em renováveis e não renováveis. As fontes energéticas são consideras poluidoras, a questão é que na fonte renovável ocorre a absorção do gás carbônico (CO_2) emitido e, na fonte não renovável, o respectivo gás é lançado na atmosfera. Como é o caso do petróleo, do carvão mineral e do gás natural, estes combustíveis ficam milhões de anos armazenados no subsolo, e depois de queimados além de não voltarem naturalmente para o subsolo, liberam CO_2 para atmosfera causando distúrbios globais, como o aquecimento global, conhecido como efeito estufa (CORTEZ, 1995).

Mas não são apenas os combustíveis fósseis que causam danos à natureza, existe todo um contexto que deve ser considerado, ao se tratar da questão da construção e implantação de uma usina hidrelétrica e outras fontes energéticas para geração de energia. As fontes renováveis são menos agressivas ao meio ambiente, ocorrendo em algumas fontes o balanço líquido do gás carbônico (CO_2). Tendo como exemplo, a queima do metano – reação (1), liberando gás carbônico e água, favorecendo o balanço líquido na atmosfera.

Reação de queima do metano (reação 1):

$$CH_{4(g)} + 2O_{2(g)} \rightarrow CO_{2(g)} + 2H_2O_{(l)} \quad \Delta H = -890 \text{ Kj}$$

2.1.3 Energia gerada pela biomassa

A partir do final da segunda metade dos anos de 70, século passado, o setor elétrico entrou em uma nova fase em vários países. A elevação dos custos de geração de energia elétrica segundo tecnologias convencionais, por questões tecnológicas, e o processo recessivo nos países industrializados, associados aos sucessivos choques do petróleo, aceleram as reformas institucionais do setor. Estas reformas, eminentemente de caráter descentralizador, levaram à definição de um maior espaço para cogeração, à produção elétrica em pequenas escala, ao uso mais intenso de fontes energéticas renováveis e à produção independente das concessionárias (WILLIANS & LARSON, 1993).

A produção de eletricidade gerada por biomassa vem sendo assunto discutido em nível mundial, sendo tema de algumas reuniões com os maiores gestores do mundo. No ano de 2012, no Brasil, aconteceu a RIO+20, quando foram elencados temas relacionados à poluição atmosférica e traçadas alternativas para barrar ou diminuir as emissões dos GEE (OLIVEIRA, 2011).

Existem argumentos para utilização de outras fontes energéticas, mas no caso da biomassa podemos elencar alguns pontos que favoreçam a sua utilização, tais como:

- é um recurso energético produzido endogenamente e que não deve estar sujeito às drásticas flutuações de preços e incertezas de suprimento;

- é uma fonte energética com baixo potencial de poluição no que se trata às emissões atmosféricas, quando comparada com os insumos fósseis;

- requer a utilização intensa de mão-de-obra, sobretudo nas etapas de produção, tal opção pode possibilitar a geração de empregos, principalmente no meio rural, ajudando a minimizar o êxodo rural, problema que é bastante sério nos países em desenvolvimento.

No caso da utilização da biomassa para a geração de energia, o principal ponto que favorece que ela seja menos poluente está relacionado à sua composição. A biomassa é caracterizada por ser formada por compostos orgânicos, em sua maioria ocorre a produção do gás metano (dependendo da composição da matéria), a emissão de poluentes da biomassa apresenta um balanço praticamente nulo (devido à absorção de carbono pela fotossíntese) que se chama balanço líquido de CO_2, em termos das demais emissões, quando comparada aos combustíveis fósseis, também apresenta vantagens, pois as emissões de SO_x são desprezíveis (TOLMASQUIM, 2003).

A biomassa tem origem em resíduos sólidos – animais, vegetais, industriais e florestais – e, voltada para fins energéticos, abrange a utilização desses vários resíduos para a geração de fontes alternativas de energia. Para cada tipo de resíduos existe uma tecnologia para o processamento e transformação de energia.

2.1.4 Geração descentralizada

A Geração descentralizada é fator importante para o desenvolvimento de outras formas de energia disponíveis no mundo. Existe uma ampla variedade de tecnologias para se buscar a energia a partir das fontes renováveis. Com o aumento do consumo mundial de energia, as novas fontes alternativas como eólica, solar e biomassa, são vistas com bons olhos (BERMANN, 2007).

Segundo a AIE (2012), a geração de eletricidade renovável em todo o mundo, desde 1990, cresceu uma média de 2,8% ao ano, que é menor do que o crescimento de 3% visto para geração de eletricidade total. Enquanto 19,5% da eletricidade mundial em 1990 foi produzida a partir de fontes renováveis, essa participação caiu para 19,3% em 2009.

Para incentivar a utilização de fontes alternativas de energia no Brasil, foi criada a Lei nº 10.438, o PROINFA, a qual foi posteriormente revisada pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003, que assegura a participação de um maior número de estados no Programa, o incentivo à indústria nacional e à exclusão dos consumidores de baixa renda do rateio da compra da nova energia. O objetivo principal do Programa é financiar, com suporte do BNDES, projetos de geração de energias a partir dos ventos (energia eólica), pequenas centrais hidrelétricas – PCH´s e biomassa.

Sendo assim, podemos aproveitar uma ampla variedade na geração descentralizada, tais como: biomassa (resíduos agrícolas, biogás), geotérmica (magma, hidrotérmica), hidroelétrica (pequena escala e grande escala), oceânica (marés, corrente maré), solar (termoelétrica, térmica solar, fotovoltaica) e vento (em terra firme, no mar e bombas de ar).

De acordo com Bermann (2007), a expressão geração distribuída vem sendo utilizada para designar principalmente os projetos de geração de pequeno porte, conectados de forma dispersa à rede elétrica, em nível de tensão de distribuição ou subtransmissão localizada próximo ao usuário final.

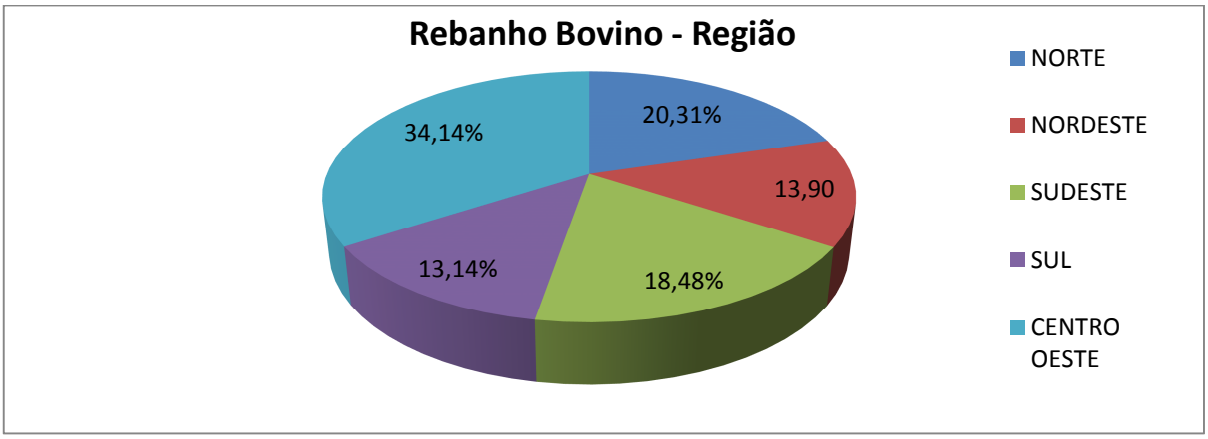
2.2 Potencial de insumo da bovinocultura

2.2.1 Bovinocultura no Brasil

Em países em desenvolvimento, a produção animal é submetida a uma grande pressão para satisfazer a demanda de proteína animal necessária à população e também para ter um excesso de produção para comercialização (BELLAVER, 2000).

No Brasil, o rebanho bovino é de mais de 212 milhões de cabeças, presentes em todas as regiões brasileiras, sendo que a maior concentração de animais está na região Centro-Oeste (com 72.662.219, 34,14%), seguido da região Norte (43.238.310, 20,31%), Sudeste (39.334.869, 18,48%), Nordeste (29.583.041, 13,90%) e Sul (27.979.385, 13,14%) (IBGE, 2011).

Gráfico 2: Rebanho Bovino – Regiões



Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Pesquisa da Pecuária Municipal 2011.

2.2.2 Bovinocultura no Norte

A região Norte contém uma área de aproximadamente de 3.869.637 km^2, sendo composta pelos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins. A região Norte corresponde a 42,27% do território brasileiro, sendo a maior região brasileira em superfície. Nesta região, estão localizados o maior e o segundo maior estado do Brasil, respectivamente Amazonas e Pará e também os três maiores municípios do Brasil em área territorial, Altamira, Barcelos e São Gabriel da Cachoeira, possuem cada um mais de

100.000km. A paisagem predominante na região Norte é composta em sua maioria pela floresta amazônica.

No início da ocupação da região norte, muitos brasileiros, principalmente os nordestinos foram incentivados a ocupar terras nesta região. O governo brasileiro incentivava a ocupação da Amazônia com o tema “Terra para homens sem terra”. Ao longo dos anos, a região vem sofrendo constantes devastações na mata, entre e de todas as atividades econômicas, as mais prejudiciais à floresta são a pecuária e as plantações de soja, porque requerem a devastação de grandes áreas da mata. A substituição da floresta por pastagens e plantações pode elevar a temperatura local e diminui a pluviosidade, levando, em última instância, à desertificação das áreas de criação (PÁDUA, 2000).

> A partir a década de 1970 inaugurou-se um processo massivo e predatório de ocupação, dando origem ao que foi chamado de “as décadas da destruição”. A região tornou-se cenário de um drama ecológico e social que passou a ser reconhecido, especialmente a partir da década de 1980, como um problema de dimensões planetárias. No período que vai até agosto de 1996, o volume da área desmatada atingiu a cifra dos 51,7 milhões de hectares, algo em torno de 12% da cobertura original. Para entender as origens deste ponto de inflexão, é preciso considerar que o Brasil das últimas décadas, ao contrário dos períodos anteriores, contava com um volume considerável de capitais e recursos tecnológicos para promover a ocupação massiva da Amazônia. Apesar da presença do capital exógeno ter sido relevante, especialmente no setor mineral, a parte mais substantiva destes investimentos veio do poder público, seja de forma direta ou indireta. Dessa vez, no entanto, ao contrário do ciclo da borracha, a vontade política de ocupação e exploração não proveio da esfera econômica, mas sim da esfera política. Este processo não se originou, como procurarei argumentar, de necessidades ou oportunidades socioeconômicas especialmente prementes para o país, mas do cálculo geopolítico dos governos militares, motivados pela vontade de garantir o domínio nacional brasileiro sobre a maior parte da Amazônia (PÁDUA, 2000).

O rebanho bovino na região norte corresponde a 43.238.310 cabeças, sendo que a maior concentração de animais esta no Pará com 18.262.547, seguido por Rondônia com 12.182.259, Tocantins com 8.025.400, Acre com 2.549.497, Amazonas com 1.439.597, Roraima com 651.511 e Amapá com 127.499 bovinos (IBGE, 2011).

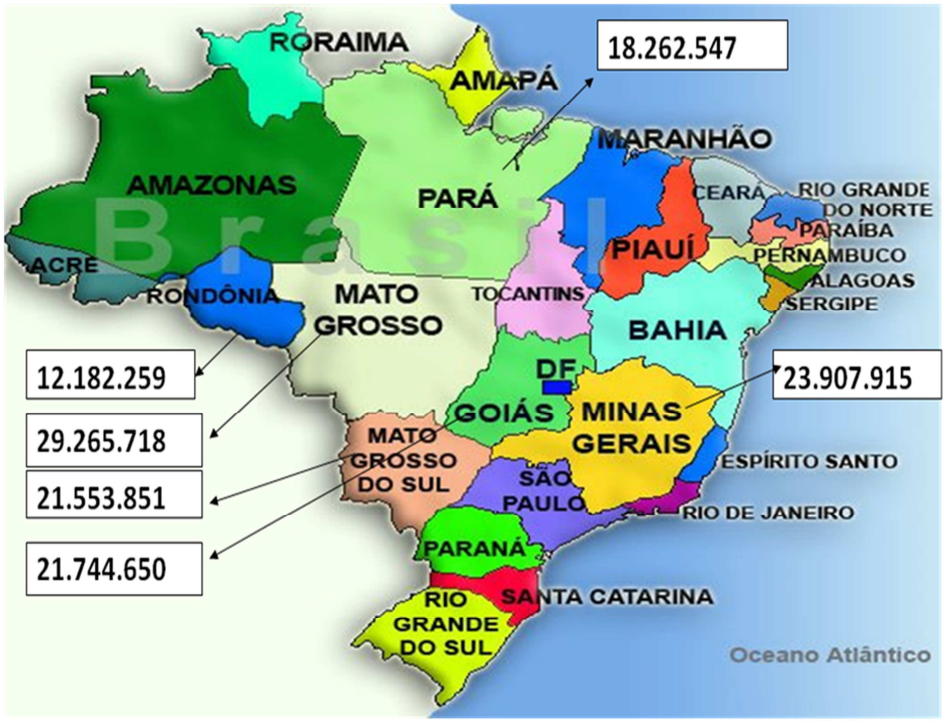


Figura 2: Rebanho bovino – Estado
Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Pesquisa da Pecuária Municipal 2011.

2.3 Biodigestor

O biodigestor é o local onde ocorre a fermentação da biomassa, podendo ser um tanque, um tubo, ou outro semelhante, revestido e coberto por um material impermeável – dentro do biodigestor, criando um ambiente sem a presença de oxigênio (anaeróbio) onde os microrganismos degradam o material orgânico – reação (2), transformando-o em biogás e biofertilizante. Este processo é conhecido como fermentação anaeróbia, podendo ser dividido em etapas e apesar de complexo ocorre continuamente dentro do biodigestor.

Reação da Biodigestão da matéria orgânica (2):

Matéria Orgânica + $H_2 \rightarrow$ CH_4 + CO_2 + BIOMASSA+NH_3+ H_2S+CALOR

As etapas mencionadas no parágrafo anterior são de extrema importância para a produção do biogás. De acordo com Prakasan (1987), esse processo no biodigestor ocorre da seguinte maneira:

1ª Hidrólise: nesta fase as bactérias liberam no meio enzima extracelulares, as quais promovem a hidrólise das partículas e transformar as moléculas maiores em moléculas

menores e solúveis ao meio. As bactérias hidrolíticas transformam proteínas em peptídeos e aminoácidos, polissacarídeos em monossacarídeos, gorduras em ácidos graxos. A velocidade da hidrólise é a etapa que vai limitar todo processo da digestão anaeróbia, isto é, a velocidade com que o material orgânico vai ser convertido em biogás é limitada pela velocidade da hidrólise. Na hidrólise ocorre a transição da fase aeróbia para a anaeróbia, com formação de chorume.

2ª Acidogênese: os microrganismos acidogênicos transformam os produtos tidos na primeira fase (peptídeos, ácidos graxos e monossacarídeos) em ácidos orgânicos, etanol, amônia, hidrogênio e dióxido de carbono. Há predominância de ácidos orgânicos de cadeia longa, o que causa a diminuição do pH. Também ocorre a liberação de nitrogênio (N) e fósforo (P) que são utilizados como suporte para crescimento da biomassa. Os microrganismos desta fase podem ser tanto aeróbios como anaeróbios. O oxigênio necessário para efetuar essas transformações é retirado dos compostos que constituem o material orgânico.

3ª Acetogênese: nesta fase, os compostos da acidogênese são transformados em acetato – reação (3). Esta etapa é crucial no processo de degradação já que os compostos formados na acidogênese não podem ser utilizados diretamente na metanogênese.

Reação Acetonogênica (3):

$$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \rightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2$$

$$CH_3(CH_2)COOH + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$$

4ª Metanogênese: nesta fase ocorre a produção de metano (CH_4) – reação (4). As arqueobactérias transformam o hidrogênio (H_2) e o dióxido de carbono (CO_2) em ácido acético, metano e CO_2. As arqueobactérias que produzem metano a partir do hidrogênio crescem mais rápido do que as arqueobactérias que usam ácido acético, assim, as arqueobactérias metanogênicas acetotróficas limitam a velocidade de transformação do material orgânico em biogás. Além do biogás podem ser produzidos também nitrato e sulfato. O nitrato é utilizado como oxidante e é reduzido para nitrogênio, e o sulfato pode ser reduzido para sulfeto. O nitrato é encontrado em baixas quantidades, mas, o sulfato pode estar presente em altas concentrações devido a sua presença na água ou em processos industriais aonde foi

utilizado. A redução do sulfato é um processo indesejável, porque o sulfato oxida material orgânico que deixa de ser transformado em metano e forma-se então em gás sulfídrico que é corrosivo e tem odor desagradável, além de ser tóxico para o processo de metanogênese.

Reação metanogênica:

$$4H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$$

$$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$$

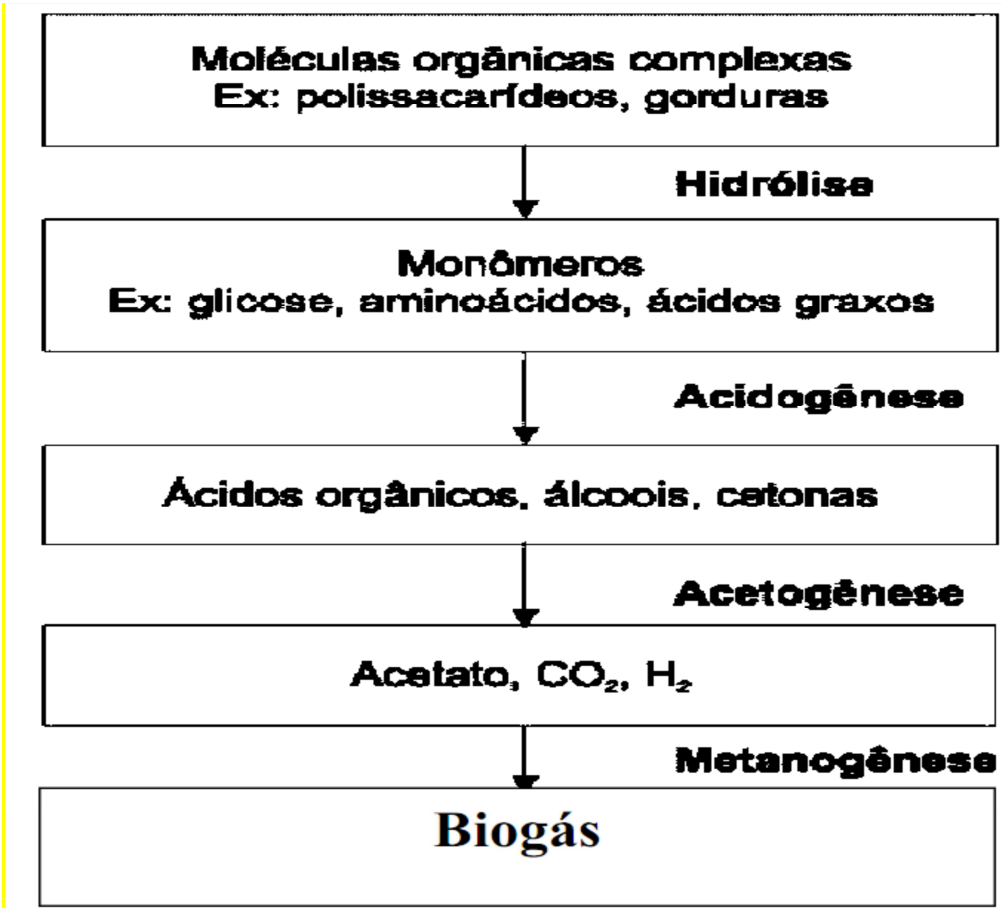


Figura 3: Etapas do processo completo de biodigestão.
Fonte: Gaspar, 2003.

De acordo com Prakasan (1987), os biodigestores necessitam de alguns componentes para que ocorra o processo de uma maneira adequada. Os principais componentes são:

a) Tanque externo: onde se processa a mistura de dejetos animais com água;

b) Biodigestor: tanque onde ocorre o processo de fermentação da matéria orgânica.

c) Gasômetro: câmara onde se acumula o gás liberado após fermentação no biodigestor;

d) Saída do biogás: tubulação inserida na parte superior do biodigestor para conduzir o biogás até o ponto de consumo;

e) Tubo de carga: conduto por onde faz a introdução da mistura (biomassa) no digestor.

As construções dos biodigestores devem ser organizadas para que favoreça a produção apropriada de acordo com a necessidade de cada comunidade.

2.4 Modelos de biodigestores

Não existe um tipo de ideal de biodigestor anaeróbio para cada situação. Há realmente uma grande variedade de tipos construtivos e aspectos operacionais que devem ser conhecidos e analisados visando, em uma aplicação específica, atender ao conjunto de condições e necessidades.

A partir da crise energética deflagrada em 1973, a utilização de biodigestores passou a ser uma opção adotada tanto por países ricos como países de Terceiro Mundo. Em nenhum deles, contudo, o uso dessa tecnologia alternativa foi ou é tão acentuada como na China e Índia.

Quanto ao abastecimento de material orgânico, podem-se classificar os biodigestores em dois tipos: batelada e contínuo. Em biodigestores do tipo batelada o abastecimento é executado uma única vez, no início de funcionamento e somente é retirado após o período recomendado (fim da fermentação anaeróbia); a bibliografia indica que esse tempo está em torno dos 45 dias (NOGUEIRA, 1986). Em tipo contínuo, o abastecimento é realizado constantemente desde o princípio de funcionamento do biodigestor até o fim do processo, dentre as classificações (contínuos) destacam-se: o chinês, indiano e o UASB.

O biodigestor modelo indiano (figura 4), é composto por um corpo cilíndrico que possui uma parede divisória separando o tanque de fermentação em duas câmaras (responsáveis pela separação do material injetado e do material decomposto) podendo ser constituído em alvenaria ou pedra, um gasômetro flutuante confeccionado em aço, caixa de entrada e caixa de saída.

Na Índia não pensava em guerras nucleares (convém lembrar que esta sempre fez parte do grupo dos países conhecidos como não alinhados). A fome e a falta de combustíveis fósseis é que motivaram o desenvolvimento da tecnologia dos biodigestores. Ressaltando que

a Índia não é (ao contrário da China) auto-suficiente em petróleo, vendo-se obrigada a buscar soluções para alimentar as imensas populações marginalizadas pelo sistema de castas, ainda não erradicado daquele país (BARRERA, 2001).

O uso de biodigestores na China originou-se por questões militares, A preocupação com segunda guerra mundial, a China temeu que um ataque nuclear impediria toda e qualquer atividade econômica no país. Entretanto, com a pulverização de pequenas unidades biodigestoras ao longo do país, algumas poderiam escapar ao ataque inimigo.

O biodigestor modelo chinês (figura 5), também constituído de corpo cilíndrico em alvenaria, duas calotas esféricas, caixa de entrada e caixa de saída (nas quais é possível a deposição e a retirada da matéria orgânica) e uma boca de inspeção.

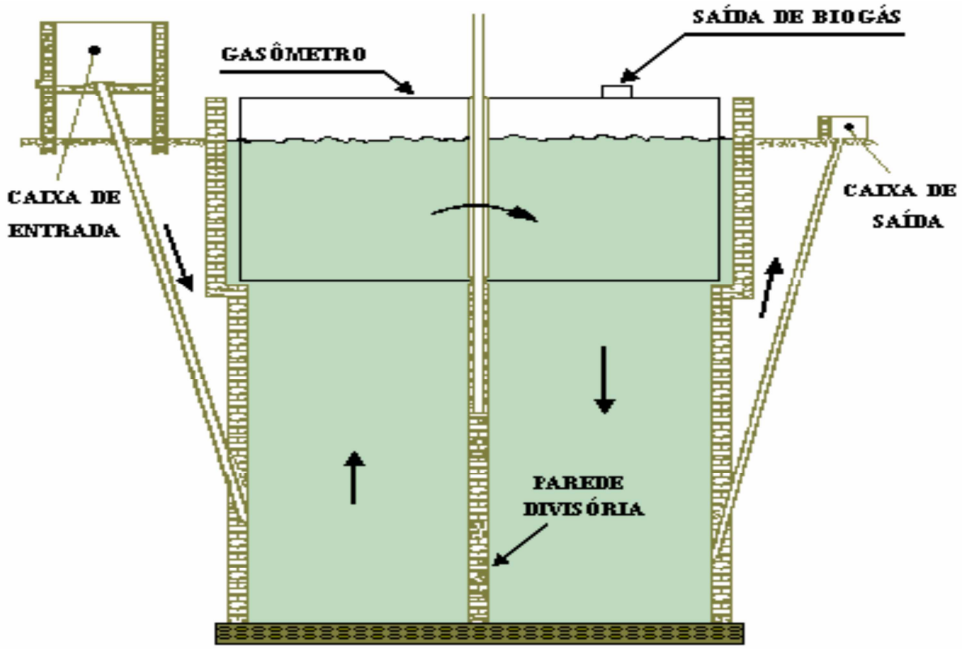


Figura 4: Modelo de biodigestor indiano.
Fonte: Oliver, (2008).

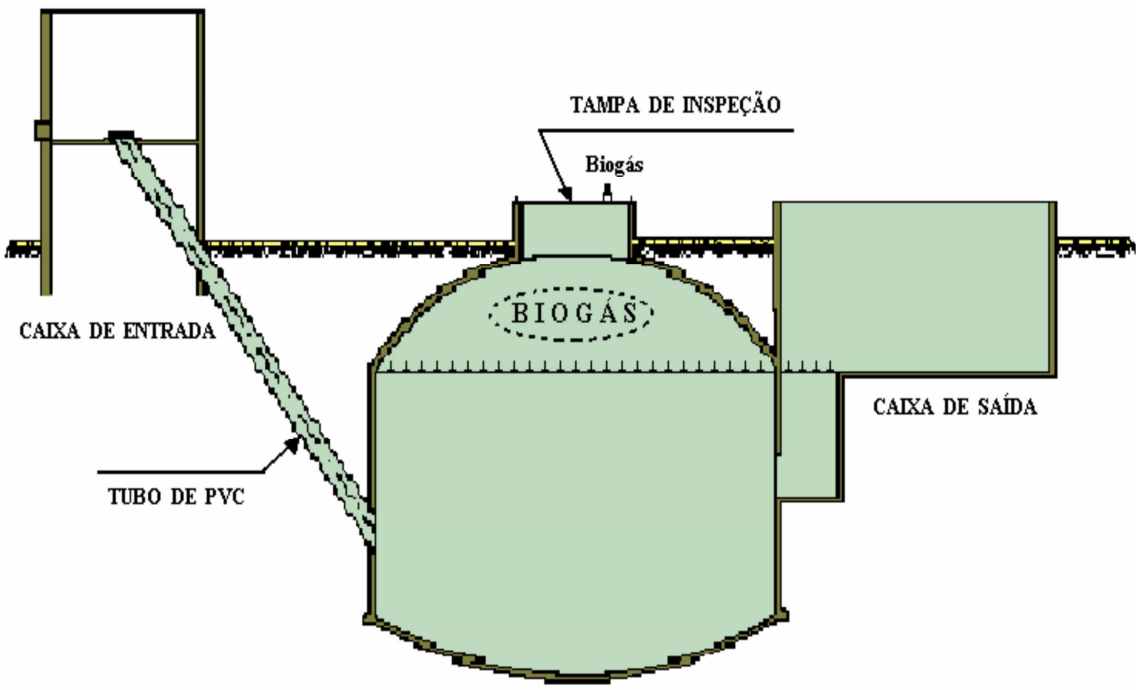


Figura 5: Modelo de biodigestor chinês.
Fonte: Oliver, (2008)

Os biodigestores modelo UASB apresentam um alto desenvolvimento tecnológico utilizando materiais como plásticos a fim de se evitar a corrosão, apresentam construção em módulos, devido ao baixo tempo de residência apresentam volumes menores e avançados modelos de separação gás-sólido-líquido. Os biodigestores tipo UASB por apresentarem um baixo tempo de retenção e serem adequados ao tratamento de resíduos líquidos representam uma alternativa para aplicações agroindustriais como tratamento de vinhoto (CORTEZ, 1995).

Para o tratamento de resíduos com teor de sólidos abaixo de 2%, pode-se empregar uma tecnologia mais moderna e mais eficiente, desenvolvida na Holanda, os biodigestores UASB (UpFlow Anaerobic Sludge Blanket). O princípio de tratamento baseia-se na passagem do resíduo por um leito de lodo (bactérias) no sentido ascendente. As bactérias, por formarem flocos ou grânulos, aumentam a densidade e se mantém no fundo do biodigestor. Com isso, as perdas de bactérias no efluente são relativamente baixas se comparado aos processos com agitação (SANT´ANNA, 2010).

Os biodigestores modelo UASB (figura 6) apresentam um alto desenvolvimento tecnológico utilizando materiais como plásticos a fim de se evitar a corrosão, apresentam

construção em módulos, devido ao baixo tempo de residência apresenta volumes menores e avançados modelos de separação gás-sólido-líquido.

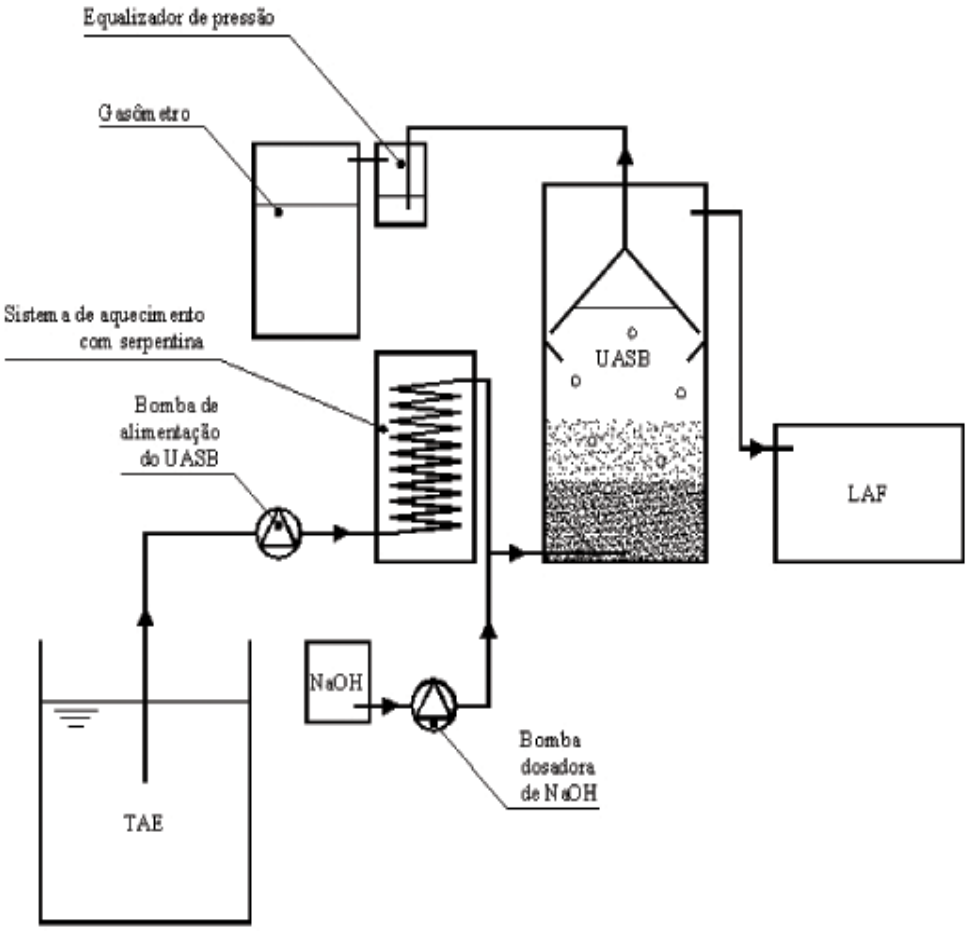
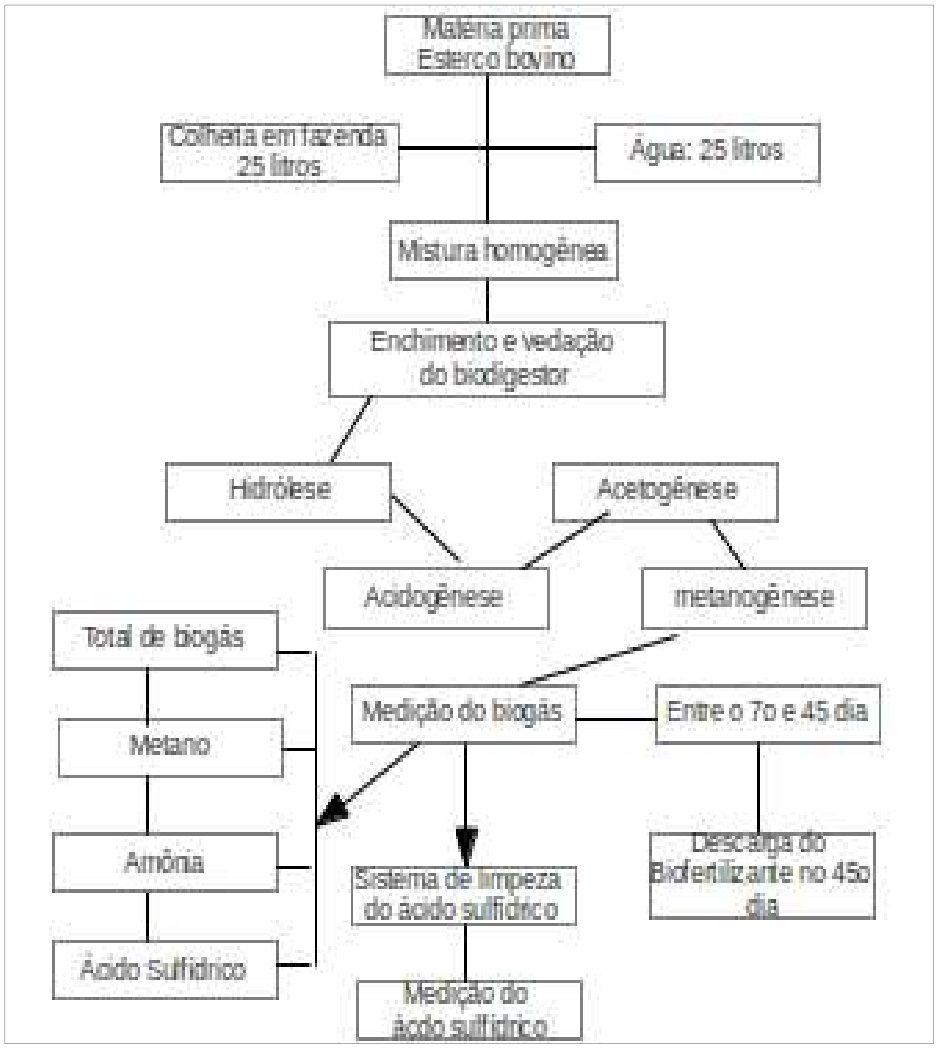


Figura 6: modelo de biodigestor UASB.
Fonte: Prado, 2009.

A figura 7 demonstra as fases de operação dos biodigestores.

Figura7: Fluxograma do processo de produção do Biogás.



Fonte: Dados da Pesquisa, 2013.

2.5 Digestão anaeróbia

O físico italiano Alessandro Volta em 1776, descobriu o ar combustível, formado pelos sedimentos no fundo de rios e lagos. Em 1806, Willam Henry caracterizou aquele gás obtido da decomposição de material orgânico, chamado de gás metano. Em 1890, Van Senus verificou que a decomposição anaeróbia era feita por vários microrganismos e Omeliansui isolou organismos que produziam hidrogênio, ácido acético e butírico, a partir da celulose. Nessa mesma época, Humphery Davey detectou a presença de metano em esterco de animais.

Posteriormente, durante a Primeira Guerra Mundial (1914-1918), surgiu na Inglaterra o interesse de se produzir metano nas fazendas a partir de esterco de animal. Somente em 1914, é que cientistas franceses na Argélia desenvolveram e aperfeiçoaram um processo de obtenção rural de gás, a partir de esterco de animais (NOGUEIRA, 1986).

Durante o período da Segunda Guerra Mundial, para enfrentar a falta de combustível existente na época, decorrente da situação bélica, cientistas alemães e italianos desenvolveram veículos para utilização de biogás em seus motores. Após a guerra, o interesse de biogás como combustível, somente foi continuado em países tais como: China, Índia e África do Sul (OLIVER, 2008).

Com o crescimento do processo de industrialização surgiram aumentos das quantidades de efluentes com alto teor orgânico. Esses efluentes passíveis de causar um grande impacto ambiental podem se tornar uma considerável fonte de energia para a sociedade. Aproveitando de um modo que reduza as suas implicações para meio ambiente, desde a poluição desses gases até a contaminação de mananciais (OLIVEIRA, 1993).

Somente a partir de 1960, a digestão anaeróbia passou a ser pesquisada com caráter mais científico, havendo, então, grandes progressos quanto à compreensão dos fundamentos do processo e também de projetos de biodigestores e equipamentos auxiliares (PRAKASAN, 1987).

Com a preocupação mundial do meio ambiente, hoje, pesquisadores de todo mundo estão dando maior atenção para o gerenciamento e utilização dos processos anaeróbios, bem como ao desenvolvimento e aperfeiçoamento de reatores para o tratamento de resíduos e principalmente a conversão de orgânicos em biogás. Esta nova geração de reatores possui a vantagem de operar com alta carga orgânica diária, alta velocidade no fluxo de entrada e baixo tempo de retenção hidráulica (SANT´ANNA JUNIOR, 2010).

Segundo Zanette (2009), a produção do biogás, além de ser uma alternativa energética, ser um combustível de baixo custo por se originar de um subproduto, encaixa-se perfeitamente dentre as disposições apresentadas pelo Banco Mundial de uso sustentável dos recursos naturais renováveis, de combate à poluição e ao desperdício de energia, em conjunto com um melhor gerenciamento dos dejetos como elementos fundamentos para o desenvolvimento sustentável.

A China é o país com cerca de 5 milhões de biodigestores instalados, e a Índia conta com cerca de 1 milhão. No Brasil, há 14 anos, existiam cerca de três mil biodigestores em operação, muitos dos quais, no entanto, atualmente estão desativados (CORTEZ, 1995).

Para a implantação de projetos e programas de biogás, em pequena escala ou grande escala, é preciso levar em conta as condições socioculturais, políticas, econômicas, ecológicas e também a tecnologia apropriada, principalmente para áreas rurais. Assim, antes de construir um biodigestor deve-se analisar o custo-benefício do ponto de vista do beneficiário, da região e do Estado. Julgando a rentabilidade de instalações de biodigestores, os objetivos de cada escolha são de importância decisiva. Sua implantação pode servir a propósitos como (CORTEZ, 1995):

– produzir biogás;

– obter fertilizante orgânico para a agricultura;

– melhorar os serviços de saúde pública e higiene;

– reduzir o impacto das crises de energia;

– melhorar as condições sociais nos níveis mais pobres da população.

2.6 Fatores que influenciam a atividade anaeróbia

2.6.1 Influência da temperatura

Ao longo do processo de metanogênese as bactérias são mais sensíveis à temperatura. De acordo com Nogueira (1986), pesquisas têm registrado a aplicação do processo anaeróbio em diferentes faixas de temperatura, podendo ser classificadas por:

- faixa termofílica: temperatura maior que 45 °C;

- faixa mesofílica: temperaturas entre 20 e 45º C;

- faixa psicrofílicas: temperatura menor que 20º C.

Segundo Prakasan (1987), o processo apresenta maior instabilidade nos seus parâmetros de controle, quando operado na faixa termofílica, e quando ocorre variação da temperatura, esse problema se agrava podendo afetar mais seriamente o processo. O grupo de bactérias metanogênicas é o que mais sofre com a influência da temperatura, pois apresentam um intervalo de temperatura muito restrito de operação, podendo causar o aumento de ácidos

voláteis através de baixas temperaturas, e consequentemente uma queda de pH. Sendo assim, a faixa ideal de temperatura para a biodigestão é entre 20 e 45º C. Esta é a faixa de temperatura que combina as melhores condições para o crescimento das bactérias mesofílicas e para a produção de metano, com o mínimo tempo de retenção da matéria orgânica no biodigestor.

2.6.2 Influência do PH

As bactérias produtoras de ácidos têm um crescimento ótimo na faixa de pH entre 5 e 6, tendo uma tolerância maior a valores mais baixos de pH que as áqueas metanogênicas. Em sistemas que existe uma série de microrganismos atuando em forma de consórcios, deve-se buscar a faixa de pH, propicia-se o crescimento máximo da maior parte dos microrganismos envolvidos, relata ainda que, o pH está intimamente ligado a concentrações de ácidos orgânicos voláteis no meio, resultante do equilíbrio entre populações de microrganismos e a alcalinidade total do sistema. Portanto, qualquer desequilíbrio no sistema provoca o acúmulo de ácidos orgânicos no meio e consequentemente queda do pH. Os valores de pH abaixo de 6 e acima de 8, praticamente fazem cessar a produção de metano. Os dois principais compostos que afetam o pH nos processos anaeróbios são o ácido carbônico e os ácidos voláteis. Na faixa de pH entre 6 e 7,5 a capacidade de tamponamento (capacidade de uma determinada amostra em resistir a mudança do pH) do sistema é quase completa, dependendo da relação gás carbônico / alcalinidade, que em equilíbrio com a dissociação do ácido carbônico, tende a regular a concentração do íon H^+(SANT´ANNA, 2010).

2.6.3 Nutrientes

Para ocorrer a degradação da matéria orgânica no biodigestor de maneira eficiente são necessários nutrientes como o nitrogênio, o fósforo e sais orgânicos. O nitrogênio é fornecido por dejetos de pessoas e animais, enquanto os políssacarídeos fornecem o carbono. O carbono (carboidratos) e o nitrogênio (proteínas, nitratos, amônia) são os “alimentos” principais das bactérias anaeróbias, o carbono fornece energia e o nitrogênio é utilizado para construir a estrutura das células. Segundo Nogueira (1986), o fundamental para a biodigestão é o teor de carbono. Geralmente, se a concentração de sólidos orgânicos é alta, por volta de 5%, esta condição estará satisfeita. O teor de sólidos é também importante para fornecer uma base

física de suporte para as bactérias, ou seja, sem o equilíbrio adequado entre os compostos de carbono e os compostos nitrogenados a produção de biogás se torna ineficiente.

2.6.4 Elementos tóxicos

As arqueobactérias são muito sensíveis a elementos como NaCl, Cu, Cr, K, Ca, Mg. Por isso, suas concentrações devem ser baixas e constantemente controladas. As arqueobactérias também são sensíveis à presença de oxigênio, se durante o processo de digestão ocorrer a formação de oxigênio este é rapidamente consumido pelos microrganismos.

Para Cortez (1995), há uma correlação entre a produtividade do processo e a faixa de temperatura de operação. Tratando-se de um processo eminentemente biológico, os microorganismos participantes devem ser adaptados ao meio. Temperaturas inferiores a 10ºC inibem a atividade microbiana, interrompendo o processo. Enquanto que variações bruscas de temperatura acima de 15ºC em um dia podem interromper a atividade de bactérias e resultar na formação de ácidos voláteis não dirigidos.

CAPÍTULO 3: VISÃO BREVE DO BIOGÁS

O biogás é composto por gás de metano, gás dióxido de carbono, com traços de hidrogênio e nitrogênio (quadro 1). O poder calorífico do biogás varia de acordo com a quantidade de metano (CH_4) existente na mistura. Quanto maior a porcentagem de metano, menor será a concentração de outros gases na amostra, o que favorece o poder calorífico do biogás.

Quadro 1: Composição do Biogás em porcentagem

Biogás	Porcentagem (%)
Metano	50 a 70
Dióxido de carbono	30 a 40
Nitrogênio	0 a 10
Hidrogênio	0 a 5
Oxigênio	0 a 1
Gás Sulfídrico	0 a 1

Fontes: Oliver, 2008 e Prakasan, 1987

De acordo como Oliver (2008), a relação volumétrica do biogás com outros combustíveis apresenta-se da seguinte forma, 1 m^3 de biogás corresponde a:

- 469g de gasolina,
- 456g de querosene,
- 550g de óleo diesel,
- 450 kg de gás liquefeito,
- 624g de álcool combustível,
- 1.538 kg de lenha,
- 1.428 kwh de energia elétrica.

O biogás pode ser comparado energeticamente com diferentes combustíveis, demonstrado no quadro abaixo.

Quadro 2: Composição do Biogás e outros – Porcentagem x Kcal/m^3

Combustível	Kcal/m^3
Biogás	5339 – 6229
60% CH_4, 10% H_2, 30% CO_2	5154
50% CH_4, 10% H_2, 40% CO_2	4424
45% CH_4, 10% H_2, 450% CO_2	3926
40% CH_4, 10% H_2, 50% CO_2	3196
35% CH_4, 10% H_2, 55% CO_2	3107
Gás de rua	4449
Gás natural	9192 – 19576
Propano	22068 – 23135
Butano	28608 – 30254

Fonte: PRAKASAN (1987).

3.1 Benefícios da biodigestão anaeróbica

A biodigestão anaeróbia proporciona diversas vantagens, que se tornam interessante sob cada ponto de vista. Em termos gerais, podem ser citados alguns benefícios: produção de biogás, controle e poluição das águas, preservação do valor fertilizante do resíduo e remoção ou eliminação dos agentes patogênicos da matéria.

3.2 Produção de biogás

Como nos tópicos passados pode-se observar que biogás não é um a gás puro. Sua composição varia de acordo com matéria orgânica utilizada no biodigestor e podem se avaliadas pela fórmula de Buswell (reação 5):

Reação 5 (Fórmula de Buswell):

$$CnHaOb + (n-a/4-b/2)H_2O \rightarrow (n/2 - a/8 + b/4)CO_2 + (n/2 + a/8 - b/4)\ CH_4$$

Aplicando os valores da celulose, temos:

$nC_6H_{10}O_5 + H_2O \rightarrow 3nCO_2 + 3nCH_4$ o que leva a concluir que, em termos teóricos, 1 Kg de celulose produz, no máximo, 0,415 m^3 de gás metano.

Devido a sua baixa densidade, é preciso grandes volumes de biogás para fornecer a mesma energia que alguns combustíveis líquidos.

3.3 Impactos ambientais e sociais

A alta concentração de animais em pequenas áreas tende a criar focos intensos de produção de gases, como amônia, dióxido de carbono, metano e óxido nítrico, com odores desagradáveis para o ser humano, sabendo-se que os três últimos são do tipo gases do efeito estufa e incrementam o aquecimento global. O material poluente produzido pela criação extensiva acaba disposto no ambiente e levado pelas chuvas aos cursos d'água e reservatórios. Observando o quadro 3, tem-se a relação do esterco dos principais animais criados em ambientes rurais e a produção do biogás por esse material (ZANETTE, 2009).

Quadro 3: Coeficientes de produção animal de esterco e biogás.

Espécie animal e condições de criação	Esterco kg/animal/dia	Biogás m³/animal/dia
Bovino estabulado	30,00	1,11
Bovino semiestabulado	15,00	0,56
Bovino não estabulado	10,00	0,36
Suíno (leitão)	2,30	0,18
Suíno adulto	5,80	0,33
Galinha poedeira	0,14	0,02
Frango de corte	0,05	0,01

Fonte: ZANETTE, 2009.

De acordo com Oliver (2008), a principal fonte de poluição no esterco é o nitrogênio (N), que pode ser perdido para o ar, na forma de amônia, ou para os solos e a água, na forma de nitrato. O fósforo (P) também tem participação como poluente. Se o esterco sem tratamento adequado for distribuído no solo saturado de potássio (K), contaminará as águas de superfície e o lençol freático.

Usualmente, podem aplicar-se dois parâmetros para avaliar o teor orgânico na água: demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio, respectivamente, DBO e

DQO. O primeiro é a medida do oxigênio requerido para as bactérias decomporem a porção biodegradável da matéria orgânica, em um período pré-fixado de tempo, usualmente 5 dias. O segundo significa a quantidade de oxigênio requerida para oxidar de forma total, quimicamente, a matéria orgânica. Quanto mais pura a água, menores os valores de DBO e DQO.

Quando possíveis resíduos industriais e esgotos devem ser tratados juntos, por apresentar alta carga poluidora. Resíduos agrícolas são geralmente lançados ao solo sem tratamento (NOGUEIRA, 1986).

Segundo Zanette (2009), os impactos ambientais da biomassa residual podem ser observados nas águas, em escalas preocupantes pelos efeitos cumulativos das concentrações de nutrientes orgânicos, nitrogênio e fósforo, que reduzem a qualidade das águas de lençóis freáticos, reservatórios e lagos. Trata-se especialmente da contaminação das águas de superfície, dos lençóis freáticos, e da eutrofização das águas superficiais. A grande quantidade de matéria orgânica nestes espaços resulta na perda da qualidade da água em decorrência da degradação anaeróbica, cujo subproduto é o biogás, ou “gás dos pântanos”.

Entende-se por eutrofização como o processo através do qual um corpo d’água adquire níveis altos de nutrientes, especialmente fosfatos e nitratos normalmente causado pela descarga de efluentes agrícolas, urbanos ou industriais, provocando o posterior acúmulo de matéria orgânica em decomposição (SANT´ANNA JUNIOR, 2010).

Destaca como principais efeitos indesejáveis da eutrofização:

- O crescimento excessivo da vegetação, o distúrbio com mosquitos e insetos, eventuais maus odores;

- No fundo do corpo d’água predominam condições anaeróbias, devido à sedimentação da matéria orgânica, e à reduzida penetração do oxigênio a estas profundidades, bem como à ausência de fotossíntese (pela falta de luz). Com a anaerobiose, ocorrem condições redutoras, com compostos e elementos no estado reduzido: o ferro e o manganês encontram-se na forma solúvel, trazendo problemas ao abastecimento de água. O fosfato encontra-se também na forma solúvel, representando uma fonte interna de fósforo para as algas e o gás sulfídrico causa problemas de toxicidade e maus odores (SANT´ANNA JUNIOR, 2010).

CAPÍTULO 4: PROCEDIMENTOS E MÉTODOS UTILIZADOS NESSA PESQUISA

Foram executados estudos bibliográficos e experimentais, na montagem e operação do biodigestor. No decorrer deste capítulo será explanado como ocorreram estas etapas, bem como os parâmetros de medição. Para as atividades desenvolvidas fez-se uso dos seguintes materiais: biodigestor tipo batelada, com as devidas vedações e material orgânico de origem bovina.

É importante salientar que ao longo da pesquisa ocorreram as atividades na forma teórica, uma vez que as primeiras etapas se constituem justamente de estudos não experimentais, o aperfeiçoamento de conhecimentos teóricos busca também aperfeiçoar a execução da atividade experimental. Tratando-se de uma pesquisa científica a necessidade da realização de vários testes é imprescindível para o alcance de resultados confiáveis. As etapas executadas serão descritas a seguir.

A primeira etapa teve caráter exploratório, na qual se realizou a revisão bibliográfica, almejando subsidiar e aprimorar os conhecimentos do autor com o tema proposto para a pesquisa, de forma a conhecer os equipamentos e técnicas necessárias para a descrição do projeto de biodigestão, a serem usados no decorrer do trabalho.

A segunda etapa é caracterizada pela montagem do biodigestor. À priori teve a aquisição no mercado local de assessórios para a montagem do biodigestor. Em seguida o equipamento foi montado e ativado. Nesta fase, surge a necessidade da visita em campo para colher o material orgânico, a coleta da matéria ocorria com equipamentos, tais como: pá de pedreiro (10 kg), enxada, sacos plátiscos para acondicionar o esterco, ressaltando que o esterco coletado apresentava características de matéria orgânica fresca, sendo coletado em propriedade rural particular ou pública.

A terceira etapa é caracterizada pela ativação de dois biodigestores, para produzir dados experimentais que dão maior confiabilidade dos resultados.

A quarta etapa foi realizada com a coleta do biogás (gasômetro) em bolsas expecíficas e pesadas na balança analítica.

A quinta etapa foi realizada a coleta do biogás, sendo analisados os paramêtros relacionados à quantidade de amônia, gás sulfídrico, porcentagem de metano (CH_4) e de gás

carbônico (CO_2) na amostra. Nessa última etapa, os resultados foram tabulados para facilitar a análise dos resultados obtidos, passando pelos seguintes passos:

1º passo: foram realizados os resultados experimentais, ocorrendo uma elaboração de tabelas que favoreciam o seu entendimento (quadro 4). Os resultados eram analisados por cada biodigestor, no final do dia era feita uma a média diária de produção do biogás

Quadro 4: Produção de biogás diariamente

Dias de produção	**Biodigestor 1**	**Biodigestor 2**	**Média do dia**

Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

2º passo: para fazer o arranjo de total biogás disponível versus os dias de alimentação, foi elaborada uma planilha onde apresentava os seguintes pontos: tempo de alimentação, ou seja, a cada 1 dia, 3 dias, 5 dias, 7 dias e 9 dias versus o número de biodigestores para determinar a produção de biogás (1, 2 e 6 biodigestores). O arranjo matemático consistiu em fazer o somatório da produção diária de n biodigestores, partindo da referência dos dias de alimentação. O valor da produção constante de cada demanda de alimentação foi determinado pela análise estatística definida de moda.

3º passo: ocorreram as análises referentes aos paramêtros relacionados à quantidade de amônia, gás sulfídrico, porcentagem de metano (CH_4) e porcentagem de gás carbônico (CO_2).

4º passo: no momento das análises do gás sulfídrico, coleta se deu de modo diferenciado. No momento da coleta do biogás, utilizaram-se dois gasômetros, ou seja, um apresentava uma adaptação para armazenar a limalha de ferro, que era introduzida numa altura de 7 cm em relação ao registro que regulava a saída do biogás até o gasômetro e o segundo gasômetro não apresentava esta adaptação.

De acordo com Gaspar (2003), o processo de redução do gás sulfídrico consiste em passar a mistura gasosa por uma torre com preenchimento de óxico de ferro III (Fe_2O_3). O gás injetado pela base da torre e conforme vai caminhando pela mesma vai reduzindo o gás sulfídrico que fica ao reagir com o óxido de ferro (reação 6).

Reação 6 : $Fe_2O_3 + 3\ H_2S \rightarrow Fe_2S_3 + 3\ H_2O$

A metodologia utilizada para realização das análises foi baseada nos dados elaborados pela EMBRAPA - Suínos e Aves que fornecem padrões colorimétricos. Segundo pesquisador Kunz (2005), o “kit” analisador de biogás permite o monitoramento diário dos principais constituintes do biogás, de modo rápido, fácil e eficiente. As análises colorimétricas (Amônia e Gás Sulfídrico) podem utilizar um sistema de comparação visual com a cartela de cores ou um fotocolorímetro para a leitura dos resultados. A determinação de gás carbônico e metano são realizados por um analisador por diferença de volume denominado de método de Orsat.

Para analisar gases e vapores usam-se hoje métodos como a espectrometria de massa, a cromatografia gasosa, acoplada ou não a espectrometria de massa, que usam detectores cada vez mais sofisticados. O Aparelho de Orsat é o método clássico de quantificação para substâncias. Havendo absorvedores para monóxido de carbono, oxigênio e dióxido de carbono, consegue-se quantificar as moléculas mais habituais no biogás. O processo de quantificação com o Aparelho de Orsat baseia-se na variação do volume do gás amostrado, decorrendo o processo de forma isotérmica e isobárica. Nestas condições, a variação do volume é proporcional à variação da quantidade de matéria da espécie absorvida (KUNZ, 2010).

O modelo utilizado nesta pesquisa foi o modelo chinês adaptado, sendo que a parte de alvenaria do chinês foi substituída no experimento por uma bombona de 200 litros.

4.1 Sistema de medição

Nesta pesquisa, ocorreu uma adaptação da metodologia para as condições locais, sendo que o biogás foi armazenado em bolsa estéril fechada, com capacidade para 0,002 m^3.

O biodigestor foi instalado numa área reservada no laboratório do GPERS, sendo constituído conforme a figura 7, por um tanque de 200 litros - reservatório dos dejetos a serem decompostos – com espaçamento suficiente para a deposição do material e em sua parte superior, o armazenamento do biogás gerado; um termômetro externo (na lateral do tanque), responsável pelas medidas de temperatura interna; conector para manômetro externo, responsável pelas medidas de pressão interna dos gases que estão sendo gerado dentro do biodigestor; na parte superior do tanque encontra-se vedações para que o gás não escape; válvula de abertura para a canalização do gás produzido; tampa de fechamento da câmara

principal, vedada; cinto lateral de suporte, a localização do biodigestor é ao ar livre sobre o solo e sob o sol.

1- equipamento biodigestor

2- termômetro para controle de temperatura

3- saída superior do biogás

4- cinta de fechamento superior do biodigestor para vedação

5- válvula de segurança

6- tampa superior

7- cinta de segurança para inibir o inchaço do biodigestor

Figura 8: biodigestor montado sob o solo.
Fonte: Dados da pesquisa.

A coleta do esterco fresco utilizado no biodigestor foi realizada em propriedade rural, sendo coletado com pás e enxadas no curral ou pastagem, armazenando em baldes de 50 litros de plástico e transportando em numa caminhonete para o laboratório. Em seguida, fez-se a adição do material no interior do biodigestor, o qual foi diluído (água potável e esterco), tornando-se uma solução aquosa e mistura homogênea. A quantidade de água misturada no biodigestor apresentou a mesma proporção do esterco, sendo 25 kg cada.

Posteriormente, o biodigestor foi vedado (é muito importante que o material constituinte do biodigestor seja impermeável para impedir qualquer vazamento de gás), como já referido, a digestão ocorre de forma anaeróbica, sem a presença do ar.

Na parte superior do biodigestor foi instalado um registro que regulava a saída do biogás para o gasômetro. As seringas utilizadas para a coleta manual do biogás eram de polipropileno, cada seringa, com volume de 20 ml e bico tipo rosca “luer lock”, foi equipada com uma válvula de três vias, para a retenção das amostras.

4.2 Análises do biogás

O método utilizado para análise do biogás foi realizado por colorimetria. Para tanto foram coletados amostras de biogás e encaminhadas para análise colorimétrica no GPERS.

As metodologias colorimétricas de análise foram realizadas utilizando cartela de cores para comparação visual. Sendo a determinação de amônia realizada pelo método “Azul de Indofenol”, e o gás sulfídrico pelo método do “Azul de metileno”. A determinação de CO_2 e CH_4 foi realizada pela adaptação de método de Orsat (KUNZ, 2005).

4.2.1 Coleta da amostra

A coleta da amostra passou por três etapas descritas abaixo.

1º Ajustar as conexões entre o biodigestor e o amostrador de biogás. Pode ser necessária a utilização de outras conexões (tipo espigão e registro).

2º Caso o amostrador já tenha sido utilizado, eliminar todo o gás antes da próxima amostragem, eliminando toda amostra anterior, evitando contaminação durante a análise.

3º Para coletar o biogás, abrir a válvula do biodigestor para sair um pouco de gás e então conectar a mangueira do amostrador no biodigestor deixando a válvula aberta para encher até a metade. Descartar e encher novamente com o biogás para análise, após fechar a válvula.

4.2.2 Determinação da amônia no biogás

a) Transferir a água deionizada para cubeta plástica, adicionar 2 gotas da Solução Pré-Tratamento 1 e agitar para homogeneizar.

b) Com a seringa azul de 5 ml , transferir 5 ml da Solução para a cubeta de vidro e separar como prova em branco .

c) Transferir 5 ml da solução para a seringa coletora de Amônia .

d) Conectar a seringa de Amônia no saco coletor, abrir a válvula e aspirar até 50 ml. Fechar a válvula.

e) Sem desconectar, agitar o gás com a solução por 2 minutos, para que toda Amônia seja absorvida pela solução.

f) Após homogeneizar, posicionar a seringa para cima evitando perda da solução ao desconectar.

g) Transferir a solução para outra cubeta de vidro, para análise colorimétrica.

4.2.3 Determinação de ácido sulfídrico (H_2S)

a) Transferir a água deionizada para cubeta plástica até a marca, adicionar 2 gotas da Solução Pré-Tratamento 1 e agitar para homogeneizar.

b) Com a seringa azul de 5 ml , transferir 5 ml da Solução para a cubeta de vidro e separar como prova em branco .

c) Com a seringa de 10 ml, coletar 5 ml da Solução.

d) Conectar no saco amostrador.

e) Abrir a válvula e aspirar até 10 ml. Fechar a válvula.

f) Sem desconectar, agitar a amostra por 2 minutos para que a solução absorva o sulfeto.

g) Virar a seringa para cima, desconectar e transferir a solução para a cubeta de vidro para análise colorimétrica.

4.2.4 Determinação de gás carbônico (CO_2)

Com o suporte na posição horizontal, verificar se as seringas e as mangueiras estão corretamente conectadas. Testar se a seringa de vidro está deslizando (com a conexão na posição **“B”**). Se não estiver, passar uma finíssima camada de vaselina no êmbolo da seringa de vidro. Voltar a conexão para a posição **“A”**, para evitar que o êmbolo escorregue (Figura 9).

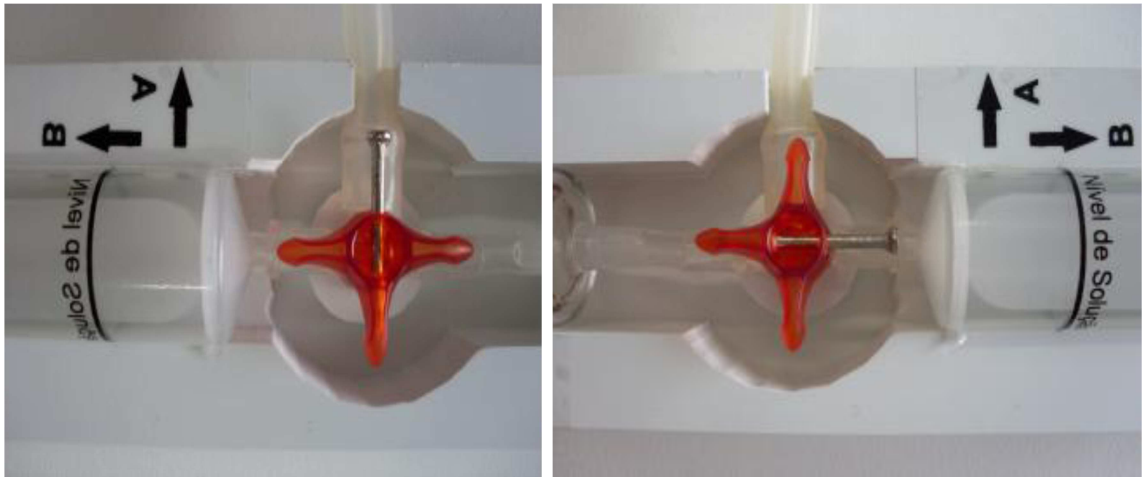


Figura 9: Posições “A” e “B” indicadas no suporte para entrada, saída ou passagem do biogás, conforme o procedimento.
Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

a) Com a seringa azul, transferir 5 ml da Solução Pré-Tratamento 2 e conectar no suporte conforme figura abaixo, deixando na posição em que a solução vai para seringa plástica de CO_2;

b) Em seguida, conectar o amostrador no suporte conforme figura. Abrir a válvula para que o gás seja transferido para seringa de vidro;

c) Fechar a válvula dos sistemas e posicionar em direção a seringa de plástico. Transferir o gás da seringa de vidro para a seringa de plástico deixando a válvula na posição A;

d) Desconectar o amostrador;

e) Ao terminar a transferência, não soltar a seringa de vidro, mas fechar imediatamente a conexão, girando-a para a posição **B** e evitando que a solução seja transferida para a seringa de vidro;

f) Agitar com cuidado o conjunto por 2 minutos (segurar bem as seringas);

g) Posicionar o suporte na posição vertical com a seringa de plástico para baixo. Em seguida, abrir a conexão entre as seringas girando-se a válvula para a posição “A”;

h) Transferir todo o gás da seringa de plástico para a seringa de vidro, empurrando o êmbolo da seringa de plástico. Ao final da passagem do gás, se necessário, inclinar o suporte para frente, de maneira a não ficar gás na seringa de plástico, com muito cuidado para não passar solução;

i) Ao término da transferência, fechar a conexão girando a torneira para a posição B.

Fazer a leitura do volume de gás que voltou, utilizando a escala auxiliar no suporte, que resulta na porcentagem de gás carbônico e metano.

RESULTADO:

% CO_2 = Leitura direta na escala do suporte

4.2.5 Determinação de metano (CH_4)

A determinação da porcentagem de gás metano é calculada pela diferença entre a porcentagem de gás carbônico calculada no kit (item 4.2.4).

RESULTADO:

% CH_4 = 100 - Leitura da % CO_2

CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Produção de biogás

Como o objetivo do trabalho era determinar a composição do biogás produzido, foram realizadas medidas de 1 biodigestor, 2 biodigestores e 6 biodigestores. A quantidade produzida no arranjo é relevante, porque produz informações para atender a diferentes demandas. Os dados são apresentados no quadro 5 e para apenas um biodigestor tem-se 1,1g no primeiro dia e chegando a máximo de 1,7g de produção, com 2 biodigestores tem-se 2,2 g no primeiro dia e 3,5 na máxima produção, para 6 biodigestores a produção no primeiro dia é de 6,7g e a máxima produção de 10,3g.

Dando continuidade a análise dos dados, simulou-se um arranjo para a alimentação do biodigestor em vários dias (1, 3, 5, 7 e 9) e também para a quantidade de biodigestores (1, 2 e 6), tendo como resultado (apresentados nos gráficos 10, 11 e 12) os valores constantes de disponibilidade de biogás no arranjo apresentado no quadro 6 a seguir são: 48,6g para 1 equipamento e 291,8 g para seis equipamentos com alimentação de 1 dia, com valor menor quando são alimentados em 9 dias tendo 5,5g para 1 biodigestor e 32,7g para 6 biodigestores.

Esses dados são importantes porque disponibilizam informações que podem ser utilizadas para ajustar a produção com a demanda necessária a ser atendida.

5.1.1 Resultados – 1 Equipamento

Os resultados encontrados na produção do biogás apresentaram uma correlação para cada quantidade de biodigestores em operação. Para um 1 equipamento (gráfico 3) a correlação esta relacionada a quantidade de biogás em relação aos dias de alimentação (1, 3, 5, 7 e 9) apresentando R^2= 0,9936, no gráfico 5, existe uma correlação entre o número de biodigestores em relação aos dias de alimentação, apresentando R^2= 0,9935, neste caso quanto menor o período de alimentação de um equipamento para o outro obteve uma maior produção de biogás.

Quadro 5: Média de produção de biogás por quantidade de equipamentos

Dias de produção	1 biodigestor	2 biodigestores Simulação	6 biodigestores Simulação
1	1,11	2,22	6,65
2	1,14	2,27	6,82
3	1,15	2,29	6,88
4	1,16	2,32	6,95
5	1,17	2,35	7,04
6	1,19	2,37	7,12
7	1,20	2,40	7,19
8	1,21	2,42	7,25
9	1,23	2,45	7,35
10	1,24	2,47	7,42
11	1,25	2,50	7,50
12	1,27	2,53	7,59
13	1,28	2,56	7,68
14	1,29	2,59	7,76
15	1,31	2,61	7,83
16	1,32	2,63	7,90
17	1,34	2,67	8,01
18	1,35	2,70	8,11
19	1,37	2,74	8,21
20	1,39	2,77	8,32
21	1,41	2,82	8,45
22	1,43	2,85	8,56
23	1,46	2,91	8,73
24	1,50	3,00	9,00
25	1,56	3,12	9,35
26	1,59	3,18	9,54
27	1,61	3,21	9,63
28	1,65	3,29	9,87
29	1,68	3,36	10,07
30	1,70	3,40	10,19
31	1,71	3,43	10,28
32	1,72	3,45	10,34
33	1,49	2,98	8,95
34	1,32	2,65	7,94
35	1,14	2,28	6,85
36	0,48	0,97	2,90
37	0,27	0,53	1,60

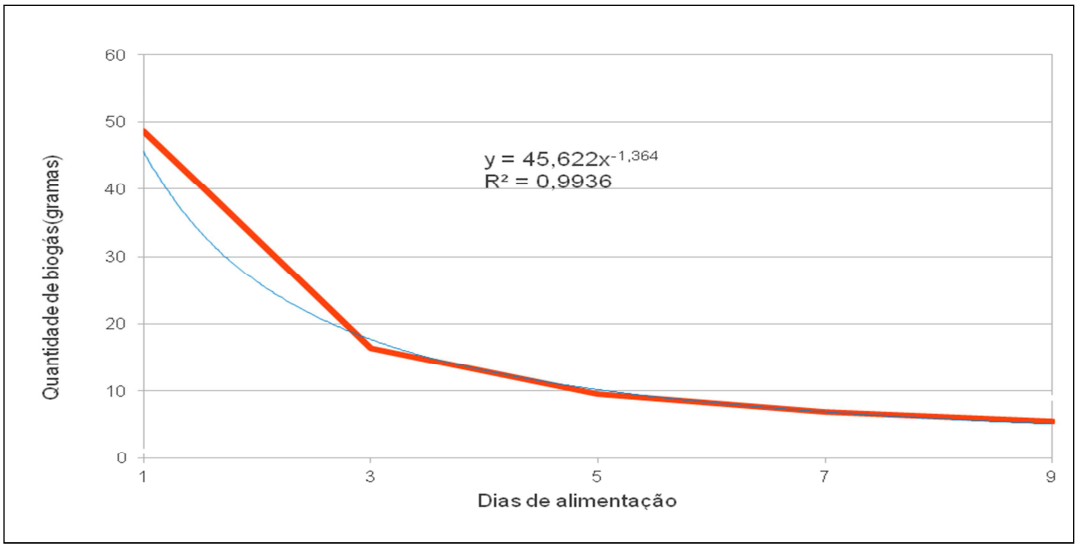
Fonte: Dados pesquisa, 2013.

Quadro 6: Produção máxima de biogás dos arranjos de nº de biodigestores por dia de alimentação.

Nº de equipamento	1 dia	3 dias	5 dia	7 dias	9 dias
1	48,6	16,4	9,6	6,9	5,5
2	97,3	32,7	19,2	13,9	10,9
6	291,8	94	57,5	41,6	32,7

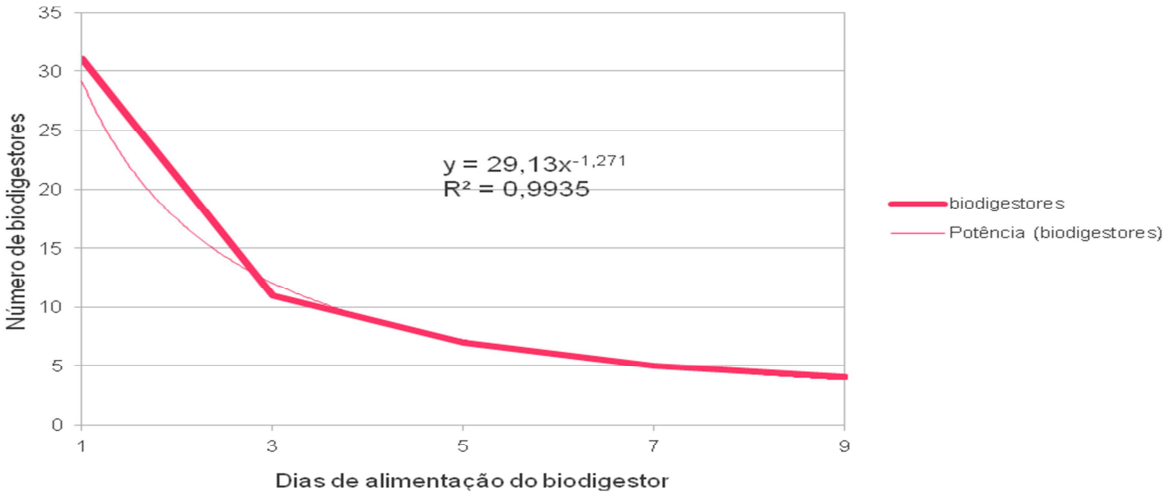
Fonte: Dados de pesquisa, 2013.

Gráfico 3: Quantidade de biogás X Dias de alimentação



Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

Gráfico 4: Número de biodigestores x Dias de alimentação

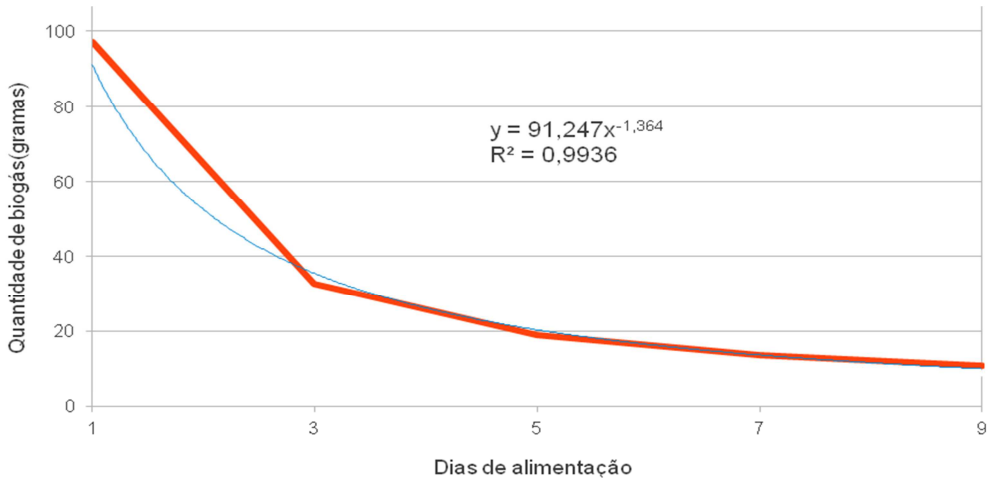


Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

5.1.2 Resultados – 2 (Dois) Equipamentos

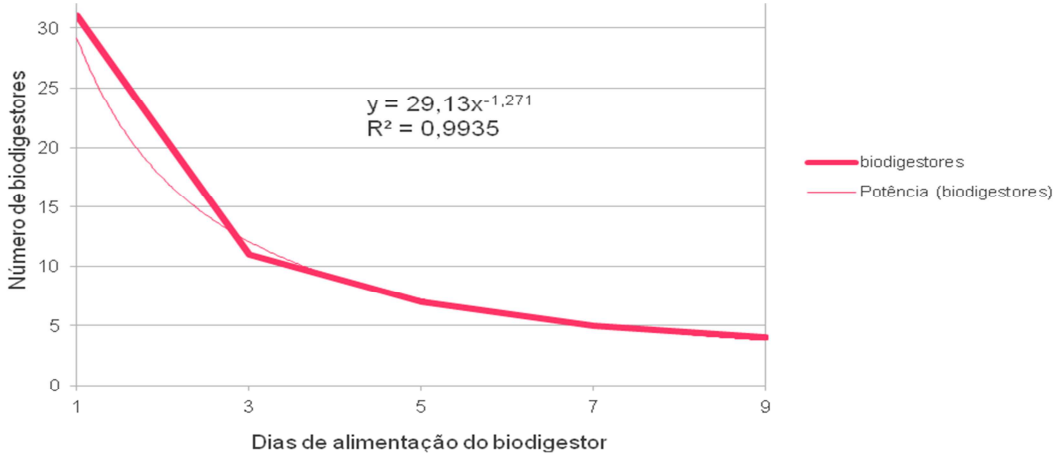
Para dois (2) equipamentos (gráfico 5), a correlação está relacionada à quantidade de biogás em relação aos dias de alimentação (1, 3, 5, 7 e 9) apresentando R^2= 0,9936, com uma produção máxima de 100g. No gráfico 6, existe uma correlação entre o número de biodigestores em relação aos dias de alimentação, apresentando R^2= 0,9935, neste caso, quanto menor o período de alimentação de um equipamento para o outro obteve uma maior produção de biogás.

Gráfico 5: Quantidade de biogás x Dias de alimentação



Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

Gráfico 6: Número de biodigestores x Dias de alimentação

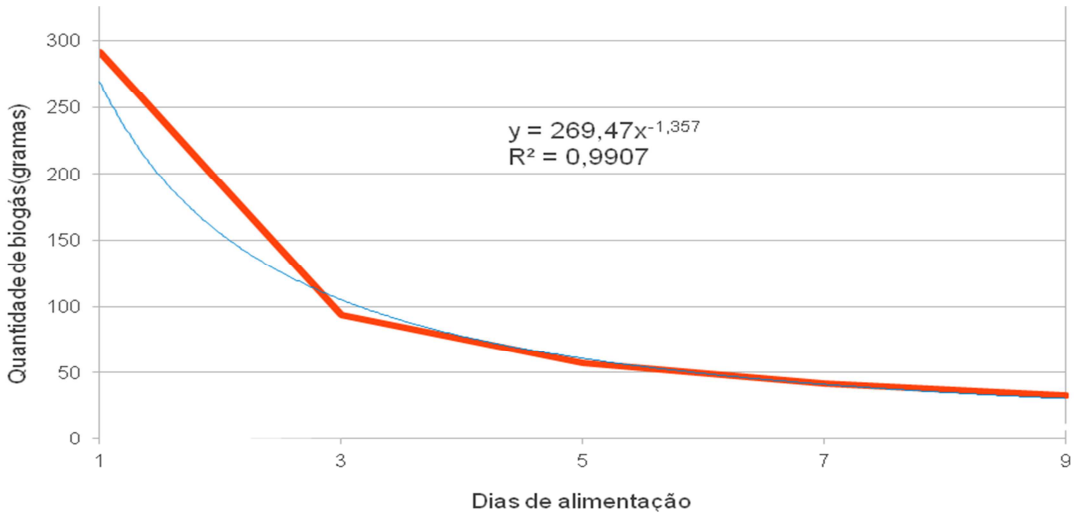


Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

5.1.3 Resultados – 6 (Seis) Equipamentos

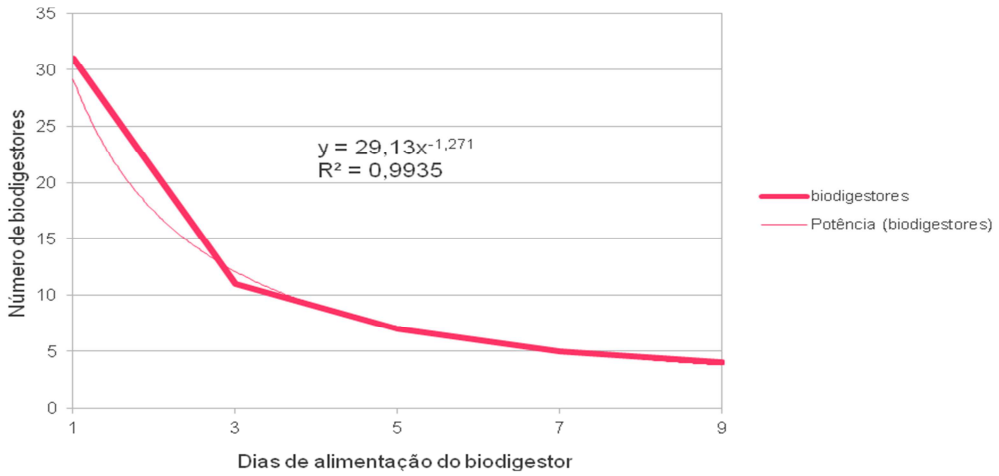
Para seis (6) equipamentos (gráfico 7), a correlação está relacionada à quantidade de biogás em relação aos dias de alimentação (1, 3, 5, 7 e 9) apresentando R^2= 0,9907, com uma produção máxima de 100g. No gráfico 8, existe uma correlação entre o número de biodigestores em relação aos dias de alimentação, apresentando R^2= 0,9935; neste caso, quanto menor o período de alimentação de um equipamento para o outro obteve uma maior produção de biogás.

Gráfico 7: Quantidade de biogás x Dias de alimentação



Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

Gráfico 8: Número de biodigestores x Dias de alimentação



Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

5.1.4 Potencial de produção de biogás

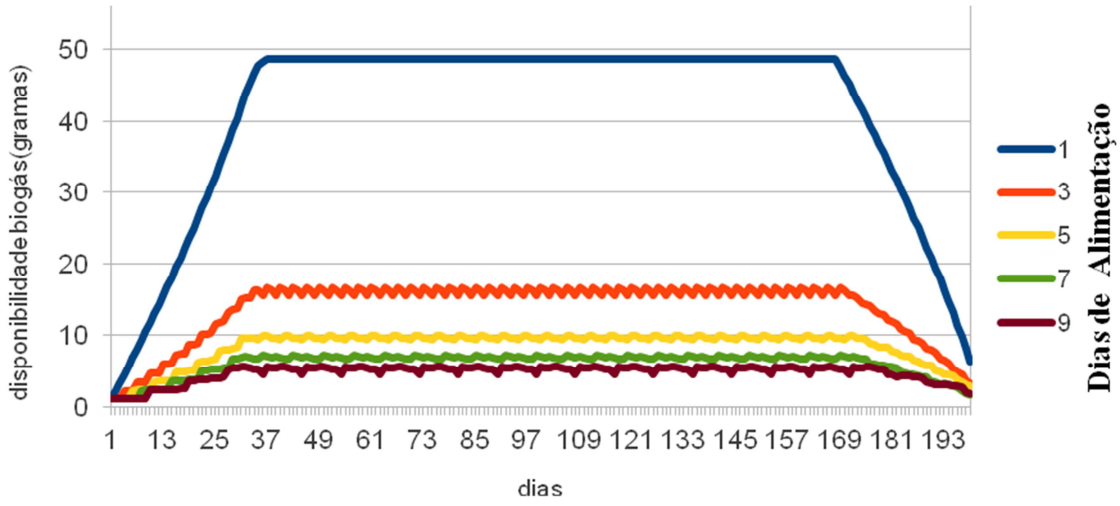
Nos gráficos (9, 10 e 11), apresentam a quantidade de biogás produzida nos meses de agosto/2012 a janeiro/2013 e abril/2013 a maio/2013, sendo que foram abastecidos dois biodigestores.

Nos gráficos (9, 10 e 11), pode se observar uma relação direta com a quantidade de biodigestores em operação. O gráfico 9 apresentou uma produção de biogás máxima de 50g, neste gráfico, estava em operação somente um biodigestor. O gráfico 10 apresentou uma produção de biogás máxima de 100g, neste gráfico, estava em operação dois biodigestores. O gráfico 11 apresentou uma produção de biogás máxima de 300g, neste gráfico, estava em operação 6 biodigestores.

Em cada gráfico foi realizado um arranjo de tempo para alimentação de cada biodigestor, sendo que alimentação para 1 dia, 3 dias, 5 dias, 7 dias e 9 dias demonstram dados de produção de biogás diferente em relação a cada tempo de alimentação, apresentando uma quantidade de produção crescente, ou seja, quanto menor o tempo de abastecimento dos biogestores maior será a quantidade de biogás produzida.

No gráfico 9, a análise dos dados simulou um arranjo para a alimentação do biodigestor em vários dias (1, 3, 5, 7 e 9) e também para a quantidade de biogás, obtendo como resultado a disponibilidade de biogás, revelando a quantidade ou demanda de biogás que poderá obter num determinado tempo de produção.

Gráfico 9: Quantidade de biogás x dias de produção

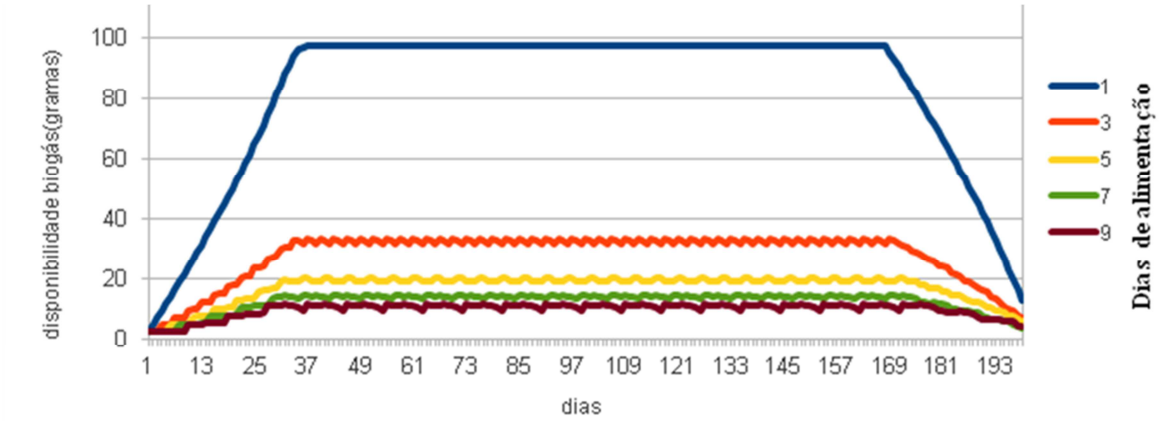


Fonte: Dados de Pesquisa, 2013.

No gráfico 10, a análise dos dados simulou um arranjo para a alimentação do biodigestor em vários dias (1, 3, 5, 7 e 9) e também para a quantidade de biogás, obtendo como resultado a disponibilidade de biogás, revelando a quantidade ou demanda de biogás

que poderá obter ao longo do período de produção, neste caso, a quantidade de biogás disponível é maior que no gráfico 9 equipamento.

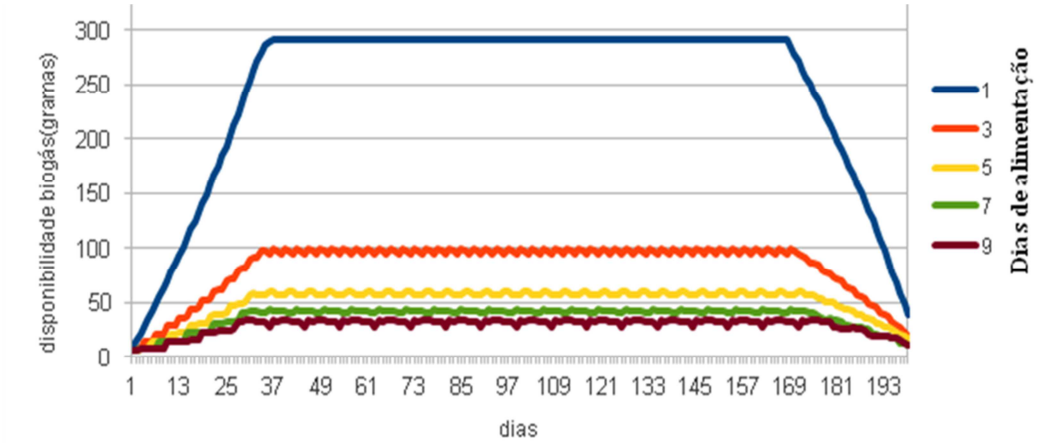
Gráfico 10: Quantidade de biogás x dias de produção



Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

No Gráfico 11, a análise dos dados simulou um arranjo para a alimentação do biodigestor em vários dias (1, 3, 5, 7 e 9) e também para a quantidade de biogás ao longo do tempo, revelando a demanda de biogás que poderá obter num determinado tempo de produção e também com aumento de biodigestores reduzindo o tempo de alimentação a produção de biogás é maior em relação aos períodos de alimentação mais distante.

Gráfico 11: Quantidade de biogás x dias de produção

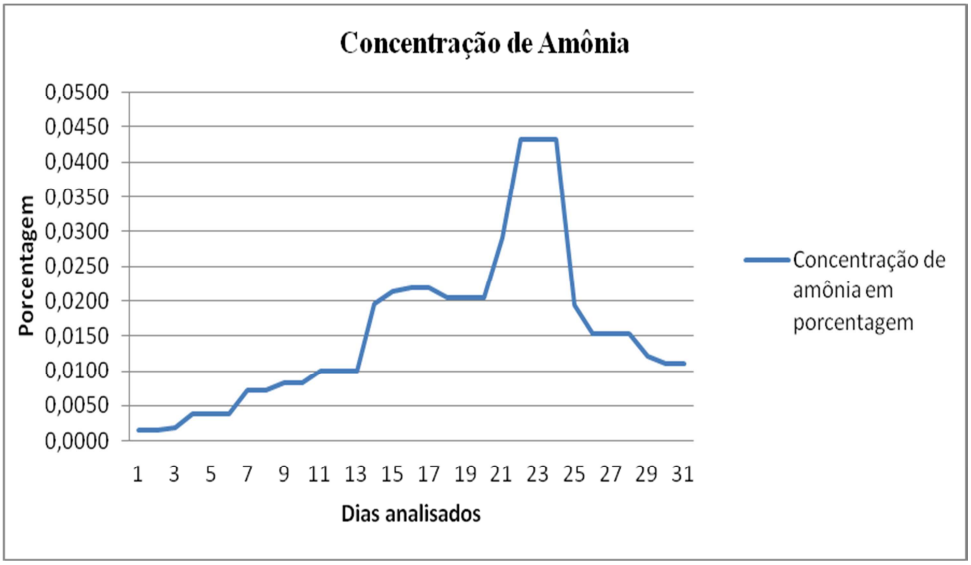


Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

5.2 Concentração de amônia no biogás

A concentração de amônia presente no biogás varia de 0% a 10% na forma de compostos variantes de nitrogênio. Nos dados obtidos na pesquisa a concentração de amônia variou de 0,002% a 0,0048% de amônia (quadro 8) .

Gráfico 12: Concentração da amônia no biogás



Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

5.3 Concentração de gás sulfídrico no biogás

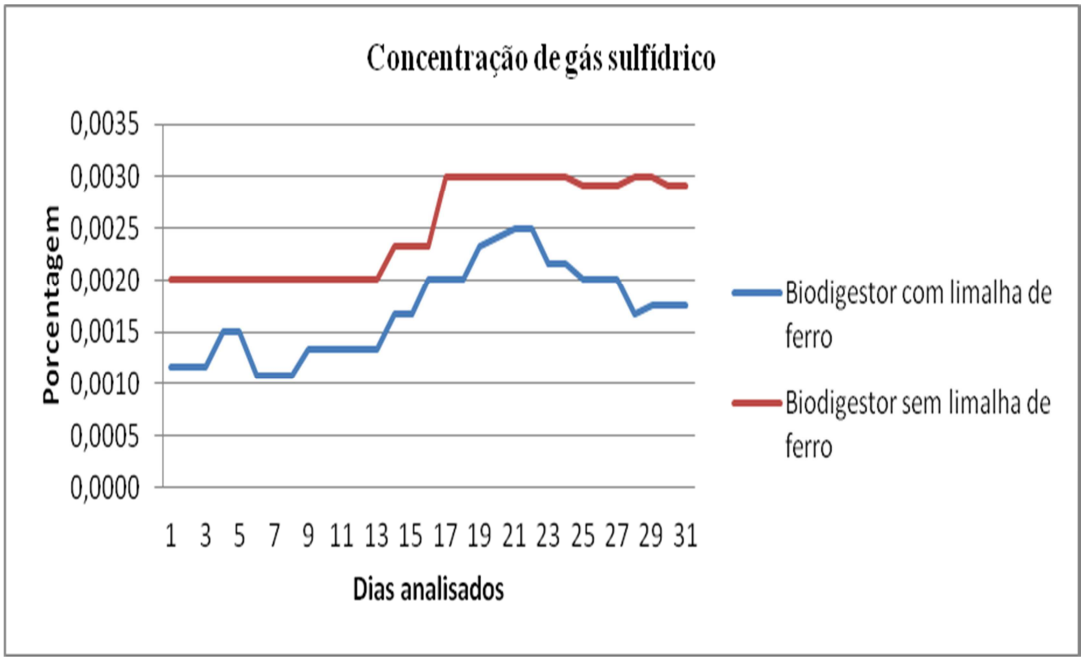
A concentração de gás sulfídrico presente no biogás varia de 0% a 1%. Nos dados obtidos na pesquisa, a concentração de gás sulfídrico variou de um biodigestor para outro.

No gráfico 13 apresentou duas linhas, sendo que uma representa um biodigestor com a limalha de ferro (azul) e uma linha representa um biodigestor sem a limalha de (ferro vermelho).

Os resultados da medição do gás sulfídrico (H_2S) com e sem sistema de limpeza do H_2S. O sistema de limpeza consiste num arranjo simplificado com passagem forçada do biogás em um ambiente contaminado com limalha de ferro (Fe_2O_3 -óxido de ferro III). Tendo pico máximo desse gás de 0,0030% para o sistema sem limpeza e 0,0018% para o sistema com limpeza, indicando que a limpeza chegou a diminuir em 40% a quantidade desse gás que é corrosivo (quadro 7).

O processo da utilização da limalha de ferro foi eficiente no sentido de reduzir a quantidade de gás sulfídrico na amostra (quadro 8).

Gráfico 13: Concentração de gás sulfídrico no biogás



Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

Quadro 7: Concentração de gás sulfídrico no biogás (H_2S)

Dia	Biodigestor sem limalha de ferro (%)	Biodigestor com limalha de ferro(%)
1	0,0020	0,0012
2	0,0020	0,0012
3	0,0020	0,0012
4	0,0020	0,0015
5	0,0020	0,0015
6	0,0020	0,0011
7	0,0020	0,0011
8	0,0020	0,0011
9	0,0020	0,0013
10	0,0020	0,0013
11	0,0020	0,0013
12	0,0020	0,0013
13	0,0020	0,0013
14	0,0023	0,0017
15	0,0023	0,0017
16	0,0023	0,0020

17	0,0030	0,0020
18	0,0030	0,0020
19	0,0030	0,0023
20	0,0030	0,0024
21	0,0030	0,0025
22	0,0030	0,0025
23	0,0030	0,0022
24	0,0030	0,0022
25	0,0029	0,0020
26	0,0029	0,0020
27	0,0029	0,0020
28	0,0030	0,0017
29	0,0030	0,0018
30	0,0029	0,0018
31	0,0029	0,0018

Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

5.4 Porcentagem de gás carbônico / metano no biogás

Após analisar os resultados obtidos por diferença de volume, observa-se a quantidade de gás carbônico e metano com variações em suas concentrações.

A concentração de gás carbônico variou de 42% a 47%, a concentração de metano variou de 53% a 58% no biogás (quadro 8). Os resultados demostraram que a quantidade de dos gases analisados estavam de acordo com a porcentagem das referências (gráfico 14).

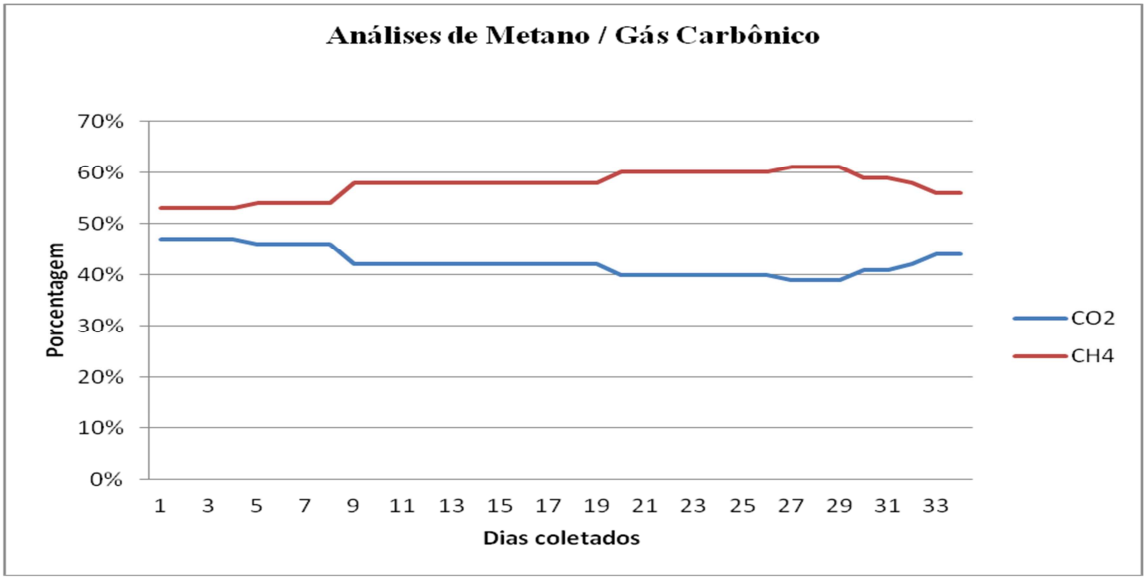
Quadro 8: Concentração de amônia, gás carbônico e metano no biogás

Dias de coleta	Concentração de metano (%)	Concentração de gás carbônico (%)	Concentração de amônia (%)
1	52%	49%	0,0016
2	53%	48%	0,0016
3	53%	48%	0,0018
4	54%	48%	0,0038
5	55%	47%	0,0038
6	55%	47%	0,0038
7	55%	47%	0,0072
8	55%	47%	0,0072
9	57%	45%	0,0082
10	57%	45%	0,0082
11	56%	46%	0,0101
12	56%	46%	0,0101
13	56%	46%	0,0101

14	57%	45%	0,0195
15	57%	45%	0,0213
16	57%	45%	0,0218
17	57%	45%	0,0218
18	57%	45%	0,0205
19	57%	45%	0,0205
20	58%	45%	0,0205
21	58%	45%	0,0292
22	58%	44%	0,0432
23	58%	44%	0,0432
24	58%	44%	0,0432
25	58%	44%	0,0193
26	58%	44%	0,0153
27	58%	44%	0,0153
28	58%	44%	0,0153
29	58%	44%	0,0121
30	58%	45%	0,0110
31	57%	45%	0,0110

Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

Gráfico 14: Concentração de CO_2 e CH_4 no biogás



Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

CAPÍTULO 6: CONCLUSÃO

A energia é estruturante da sociedade, porque interfere (tanto positiva quanto negativamente) nos aspectos macro e microeconômicas, nas dinâmicas sociais, culturais e, sobretudo, ambientais. As energias renováveis sustentáveis se constituem como alternativas para minorar os impactos negativos da energia, a renovabilidade diminui as emissões de poluentes e uma parte delas tem emissões líquidas de CO_2 nulas, a sustentabilidade produz menos impactos na renda e a maior parte dela produz ganhos positivos para a geração de emprego e diminuição do uso de energias tradicionais, como os subprodutos do petróleo.

O uso de insumos para produzir energias disponíveis próximo ao local de consumo é uma alternativa viável para uma maior oferta e disponibilização de energia, diminuição do consumo de energia tradicional e, sobretudo, quando o atendimento de energia é feito em locais distantes e/ou isolados se constitui numa importante iniciativa de aumentar e melhorar o acesso a energia. Essa modalidade de atendimento com energia em localidades isoladas e com energia renovável se constitui na Geração Descentralizada de energia, que é uma metodologia importante e com resultados muito promissores.

O esterco bovino, na Região Amazônica se constitui como importante insumo para a produção de energia, porque está distribuído em todos os locais. Em Rondônia há produção agropecuária em todos os 52 municípios do Estado com potencial de esterco da ordem de 20.000 tonelada/dia. Além da dispersão espacial as demandas de energia são diferenciadas, tanto pequenas, quanto médias e grandes. O uso de biodigestores de pequena escala teve resultados interessantes, tanto na quantidade produzida, quando na fácil operação do sistema.

No que tange à produção os resultados foram significativos, com 1 biodigestor a maior produção foi de 1,7g, para 2 equipamentos 3,5g e para 6 equipamentos 10,3g. Para incrementar a produção de biogás simulou-se vários tempos de alimentação dos biodigestores, tendo resultados significativos da produção com valor mínimo de 5,5g com 1 equipamento e 9 dias de intervalo para alimentação do biodigestor e valor máximo de 291,8 g para 6 equipamentos e 1 dia de intervalo para a alimentação. O intervalo de valores é relevante: número de equipamentos (n) e o tempo de alimentação dos biodigestores (X), porque proporciona dimensionar a quantidade de equipamentos e tempo de alimentação do biodigestor à demanda necessária a ser atendida.

Dois resultados são relevantes, matematicamente, o primeiro refere-se a equação ajustada da produção de biogás, produção (X)= $k*X^{-1,36}$, onde k_n é uma constante relacionada

com a produção para 1 de alimentação de n biodigestores e X é o número de dias de alimentação. O índice de correlação da equação e os valores experimentais são de R^2= 0,99. Essa equação matemática possibilita calcular o número de biodigestores e o número de dias para a alimentação do biodigestor em função da demanda a ser atendida.

O segundo resultado refere-se à produção disponível de biogás em função da quantidade de dias de alimentação do biodigestor. Os dados de produção foram colocados numa matriz e na quantidade de diária disponível foram realizados testes estatísticos e determinados pela Moda. Os resultados demonstram indubitavelmente que o valor da produção relaciona-se a quantidade *n* de biodigestores e de X dias de alimentação do biodigestor.

As medições dos gases constituintes deram resultados, demonstrando que a metodologia utilizada foi adequada. A amônia atingiu 0,04% 23° dia de medição. A concentração de gás carbônico variou de 42% a 47%, do metano entre 53% a 58%, produzindo valores condizentes aqueles da bibliografia.

Os resultados da medição do gás sulfídrico (H_2S) com e sem sistema de limpeza do H_2S. O sistema de limpeza consiste num arranjo simplificado com passagem forçada do biogás em um ambiente contaminado com limalha de ferro (Fe_2O_3 -óxido de ferro III). Tendo pico máximo desse gás de 0,0030% para o sistema sem limpeza e 0,0018% para o sistema com limpeza, indicando que a limpeza chegou a diminuir em 40% a quantidade desse gás que é corrosivo.

Os resultados apresentados dão conta de que o sistema estudado é adequado para a produção de energia com vistas a atender pequenas demandas de gás combustível, como é o caso de localidades isoladas da Amazônia, que estão distantes dos centros de distribuição e tem insumos disponíveis para essa utilização.

Próximos estudos experimentais necessitam ser realizados para cotejar os dados de produção encontrados com sistemas maiores, como exemplo cotejar os dados de produção de um biodigestor de 100 litros com aqueles de 2 biodigestores e de 300 litros com aqueles de 6 biodigestores. Da mesma forma, que esses equipamentos maiores podem gerar informações de produção para cotejar com a equação e metodologia dos equipamentos de pequena escala determinados nesta dissertação.

REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS

AZEVEDO, Maurício; et al. *Coogeração de energia utilizando o biogás do esgoto sanitário realizado na companhia de saneaamento do Paraná – SANEPAR***.** Dissertação – CEFET-PR, Unidade de Medianeira, 2004.

AVELLAR, L.H N. *A valorização dos subprodutos agroindustriais visando a cogeração e a redução da poluição ambiental*. Tese de Doutorado, UNESP, Guaratinguetá, 2001.

BARRERA, Paulo. *Biodigestão: energia, fertilizante e saneamento para zona rural*. São Paulo: Ícone, 2001.

BECKER, Bertha K. STENNER, Claudio. *Um Futuro para a Amazônia***.** São Paulo: Ed. Oficinas de Texto. Série Inventando o futuro, 2008**.**

CETESB. *Biogás: projetos e pesquisas no Brasil*. Secretaria do Meio Ambiente ; organização Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer.São Paulo : SMA, 2006.

BELLAVER C. *Produção animal e qualidade de vida em sociedades em transição*. 1ª Conferência Internacional Virtual sobre Qualidade de Carne Suína. 16 de novembro a 16 de dezembro de 2000 — 235-248. Concórdia, SC.

BENINCASA, M.; ORTOLANI, A.F.; JUNIOR, J.L. *Biodigestores convencionais?* Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 1991.

BERMANN, Célio. *Energia no Brasil: para quê? Para quem? Crise e alternativas para um país sustentável*. São Paulo: Livraria da Física, 2001.

BROWN, Lawrence S. e HOLME, Thomas A. *Química geral aplicada à engenharia*. São Paulo: Cengage, 2009.

BP. Statistical Review of World Energy. Editora: BP, 2013 Disponível em: <http://www.bp.com>. Acessado em: junho/2013.

CASTRO, Nivalde J. e FERNANDEZ, Paulo Cesar (2007). *A Reestruturação do setor elétrico brasileiro: passado, presente e tendências futuras.* XIX SINPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, 14 -17 de outubro de 2007.

CENBIO. *Metodologia de cálculo para conversão energética*. Instituto de Eletrotécnica e Energia – IEE, SÃO PAULO: USP, 2010.

CORTEZ, Luis A.B. et al. *Sistemas energéticos II: Tecnologias de conversão energética da biomassa*. São Paulo, Série, 1995.

COELHO, S.T.; VELAZQUEZ, S.M.S.G.; PECORA, V., ABREU, F.C. *Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto*. XI Congresso Brasileiro de Energia (CBE), 2006.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M.C.J.P; ROSSI, M.; TAVARES, R. *Biodigestores Rurais: Modelos Indiano, Chinês e Batelada*. Trabalho apresentado no AGRENER 2002. Departamento de Artes e Representação Gráfica, FAAC – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, UNESP – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Bauru, São Paulo, 2002.

GASPAR, Rita Maria Bedran Leme. *Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR. UFSC*, Florianópolis, 2003.

GOLDEMBERG, José & VILANUEVA, Luz Dondero. *Energia e meio ambiente e desenvolvimento*. 2 ed. São Paulo: USP, 2003.

IBGE. Produção Pecuária Municiopal. Rio de Janeiro: 2011. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2011/default.shtm >. Acessado em: março/2013.

IEA. *INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Key World Energy Estatistics*, Paris, 2012. Disponível em: <http://www.iea.org>. Acessado em: janeiro/2013.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M.M.; OLIVEIRA,P.A. *Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil*. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v. 22, n. 3, p. 651-665, set/dez 2005.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. *Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás.* Revista de Política Agrícola, v.15, n.3, p.28-35, 2006.

KUNZ, A.; VIVAN, M. *Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.14, n.3, p.320–325, 2010.Campina Grande, PB, UAEA/UFCG

LORA, Electo Eduardo Silva & ADDAD, Jamil. *Projeto oportunidades e barreiras da geração distribuída para a distribuição de energia elétrica*. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

LUCAS JÚNIOR, J. *Estudo comparativo de biodigestores modelos indiano e chinês.* Tese de doutorado em produção vegetal – Faculdade de Ciências Agrárias e veterinárias, Universidade Estadual de Jaboticabal, 1987.

MORET, A. de S. *Desafios ao setor elétrico de Rondônia, como a biomassa sustentável pode contribuir para o aumento da oferta de eletricidade: o caso dos resíduos agrícolas***.** In: IV Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. 2004, Itajubá, 2004.

MORET, A. S. *Geração descentralizada de eletricidade, oportunidades para Rondônia*. In: AMARAL, J. J. (Org.). Pesquisas na Amazônia. Porto Velho: EDUFRO-Editora da Universidade Federal de Rondônia, 2002.

MORET, A. de S., BORRERO, M. A V. *Previsões das contribuições dos combustíveis alternativos e sustentáveis para o Estado de Rondônia: Resíduos Agrícolas.* In: X Congresso Brasileiro de Energia. Rio de Janeiro, 2004.

NASCIMENTO E. F. e LUCAS JUNIOR J. *Biodigestão anaeróbia do estrume de suínos: produção de biogás e redução de sólidos em cinco tempos de retenção hidráulica*. Energia na Agricultura. v. 10, n. 14, p. 21-31, 1995.

NÓBREGA, Olímpio; SILVA, Eduardo; SILVA, Ruth. *Química.* São Paulo: Ática, 2008.

NOGUEIRA, L.A.H. *BIODIGESTÃO: A ALTERNATIVA ENERGÉTICA*. SÃO PAULO, NOBEL, 1986.

OLIVEIRA P. A. V. Coord. *Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos*. Ed. EMBRAPA – CNPSA, Documentos No 27-0101/6245, Concórdia, SC, 188p. 1993.

OLIVEIRA, Chalana Silva de. Responsabilidade sócio ambiental e a Eco Rio+20. Revista Doutrina e Peças, 2011. Disponível em: <http://jus.com.br/revista/texto/19509/responsabilidade-socioambiental-e-a-eco-rio-20>. Acessado em: Novembro, 2011.

OLIVER, Andrea de Paula M (et al.). *Manual de Treinamento em Biodigestão*. Instituto Winrock – Brasil e Universidade do Estado da Bahia. Versão 2.0, fev. 2008.

ORTIZ, Lúcia Schild. *Fontes alternativas de energia e eficiência energética: opção para uma política energética sustentável no Brasil*. Campo Grande-MS: Coalizão Rios Vivos, , 2002.

PÁDUA, J. A.*: Biosfera, história e conjuntura na análise da questão amazônica. História, Ciências, Saúde - Manguinhos*, vol. VI (suplemento), 793-811, setembro 2000.

PECORA, Vanessa. *Implementação de uma Unidade Demonstrativa de Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás de Tratamento do Esgoto Residencial da USP : estudo de caso*. São Paulo, 2006.

PEETZ V. S. (Coord.), CASTRO JR. F.G., CAMARGO J.C. M., BERSANO J.G., BUENO C.R.F., ALMEIDA J.E. e SILVA L.B. *Cadeia produtiva da carne suína no Estado de São Paulo*. São Paulo: IEA/SAA/SP. 57 p., 1996.

MAPA. Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011. *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Produção e Agroenergia*. 2. ed. rev. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

PRADO, Marco Antonio & CAMPOS, Cláudio M**.** Montenegro. *Produção de biogás no tratamento dos efluentes líquidos do processamento de Coffea arabica L. em reator anaeróbico UASB para o potencial aproveitamento na secagem do café***.** Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542008000300035>. Acessado em: Junho/2011.

PRAKASAN, K. et. al. *Tecnologia do Biogás***.** 2 ed. Areia, PB: Editora Laboratório de Energia Biomassa – Universidade Federal da Paraíba, 1987.

SANT´ANNA JUNIOR, Geraldo Lippel. *Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações*. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

SILVA LORA, E. E. e HADDAD, J. Geração Distribuída: aspectos tecnológicos, Ambientais e Institucionais. Ed. Interciência. Rio de Janeiro, 2006.

SOUZA C. F. *Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: obtenção de dados e aplicação no desenvolvimento de um modelo dinâmico de simulação da produção de biogás*. 2001. 140 p. Tese (Doutorado em Zootecnia - Produção Animal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SOUZA S.N.M.; PEREIRA, W.C.; NOGUEIRA, C.E.C; PAVAN, A.A.; SORDI, A. *Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura.* Maringá, 2004.

TICIANELLI, Edson A. e GONZALEZ, Ernesto R. *Eletroquímica: princípios e aplicações.* São Paulo: Edusp, 2005.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. *Fontes renováveis de energia no Brasil.* Rio de Janeiro: CENERGIA, 2003.

WILLIAMS, R., LARSON, E. D. *Advance Gasification-Based Biomass Power Generation and Cogeneration. In Fuels and Eletricity from Renewable Sources of Energy,* 1993.

ZANETTE, André Luiz. *Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil.* Dissertação– Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009.

YAMASHITA, T. *Certificado de Análise dos Gases de Exaustão – PUREFA***.** Relatório de Ensaio - WHITE MARTINS. São Paulo, 2004.