



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
FACULDADE DE ENGENHARIA

Abrão Macandi Dongala

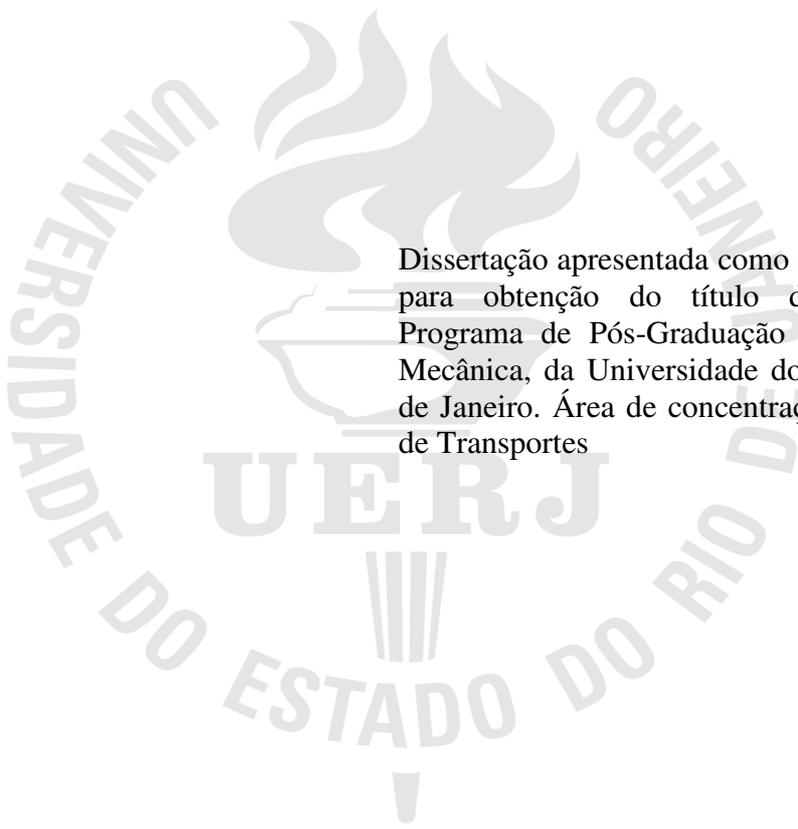
Projeto de Biodigestor para Geração de Bioenergia em Sistema de Produção de Suínos: um Estudo de Caso da Região de Icolo e Bengo - Angola

Rio de Janeiro

2010

Abrão Macandi Dongala

**Projeto de Biodigestor para Geração de Bioenergia em Sistema de Produção de Suínos:
um Estudo de Caso da Região de Icolo e Bengo - Angola**



Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Fenômenos de Transportes

Orientador: Prof. Mauro Carlos Lopes Souza

Rio de Janeiro

2010

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

M114 Dongala, Abrão Macandi.

Projeto de Biodigestor para Geração de Bioenergia em Sistema de Produção de Suínos: um estudo de caso da região de Icolo e Bengo - Angola / Abrão Macandi Dongala. – 2010.

127 f: il.

Orientador: Mauro Carlos Lopes Souza.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Biogás. 2. Biodigestores. 3. Bioeletricidade. 4. Suínos - Dejetos. 5. Engenharia Mecânica. I. Souza, Mauro Carlos Lopes. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 662.767.2

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Abrão Macandi Dongala

**Projeto de Biodigestor para Geração de Bioenergia em Sistema de Produção de Suínos:
Um estudo de Caso da Região de Icolo e Bengo - Angola**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Fenômenos de Transportes

Aprovado em 5 de abril de 2010.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Mauro Carlos Lopes Souza (Orientador)
Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof.^a Dr.^a Thereza Christina de Almeida Rosso
DESMA - UERJ

Prof. Dr. Emilio Lebre La Rovère
Universidade Federal do Rio de Janeiro. PPE –
COPPE

Prof. Dr. Silvio Carlos Anibal de Almeida
Universidade Federal do Rio de Janeiro. PEM -
COPPE

Rio de Janeiro

2010

DEDICATÓRIA

À minha Família, em Geral e à minha noiva Lúcia Madalena Paulo Álvares em particular, pelo apoio e força dada para a continuação dos estudos e pela compreensão por me ter tornado ausente por várias vezes nos diversos encontros familiares, durante o período de pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Ao Criador do Universo, Deus, pai Todo Poderoso pela vida, inteligência, saúde, amor, felicidade, paz e por tudo que nos proporciona.

Ao Professor Mauro Carlos Lopes Souza, pela dedicação coragem e por acreditar ser possível realizar esta dissertação, mesmo pelo meu regime de trabalho e porque maior parte da dissertação fez-se em Angola.

Ao professor Norberto Mangiavacchi, coordenador da Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, pelo apoio e incentivo dentro da humildade que lhe é característica.

Ao colega Fábio Viana de Abreu, pela colaboração na revisão da análise econômica.

Aos colegas e amigos do curso de pós graduação em Engenharia Mecânica, especial ao companheiro de sempre, desde a graduação Leon Matos, pela colaboração e disposição demonstradas enquanto estudantes nas diversas matérias do curso.

Ao Ministério dos Petróleos de Angola, pelo apoio financeiro dado desde a graduação. Aos proprietários e colaboradores da fazenda Menga, pela disponibilidade de meios para que a pesquisa tivesse lugar e pela boa recepção á idéia de se levar avante o projeto que começou numa simples conversa de restaurante.

À universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e aos professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica pelos conhecimentos transmitidos e pela abertura de novas fronteiras em minha vida.

RESUMO

DONGALA, Abrão Macandi. *Projeto de Biodigestor para Geração de Bioenergia em Sistema de Produção de Suínos: um estudo de caso da Região de Icolo e Bengo - Angola*. 2010. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2010.

A tecnologia da biodigestão anaeróbia tem sido comprovada como uma das mais eficientes no tratamento dos dejetos de suínos, esta tecnologia, encontra-se num crescimento tímido em Angola facilitando assim uma poluição maior dos Rios, solos e o ar atmosférico, por falta de tratamento adequado da biomassa produzida por milhares de suínos existentes neste País. O emprego do biogás como fonte de energia para o funcionamento dos equipamentos ainda encontra limitações de ordem tecnológica e por falta de informação, organização e em muitos casos apoios tecnológicos e de instituições governamentais ou Não Governamentais. Este trabalho avaliou a viabilidade técnica, na implantação de Biodigestores na Região de Icolo Bengo em Angola. Foi estudada a implantação de Biodigestores, Modelo Indiano, na fazenda Menga assim como o potencial de geração de energia elétrica existente na produção de Biogás. O tratamento anaeróbio dos resíduos de Suínos como fonte renovável de energia, dentro de um conceito de desenvolvimento sustentável e de racionalização da produção sem agressão ao Meio-Ambiente também são referenciados mostrando que esta tecnologia pode ser apropriada como estratégia de conservação e uso eficiente da energia elétrica que é muito escasso em Angola. O emprego da biodigestão anaeróbia neste caso é possível e desejável, uma vez que contribui para preservação do Meio Ambiente, viabiliza os modernos sistemas de confinamento e reduz o custo da produção assim como ajuda na produção de energia elétrica e de fertilizantes. Um sistema integrado foi proposto e será aplicado na Fazenda Menga, como um dos projetos pioneiros em Angola.

Palavras-Chave: Biodigestores. Dejetos de Suínos. Biogás. Bioeletricidade.

ABSTRACT

The technology of anaerobic digestion has been proven as one of the most effective in the treatment of pig slurry, In Angola this technology is growing in a shy, so faculties a greater pollution of rivers, soil and atmospheric air for lack of adequate treatment of biomass produced by thousands of pigs in this country. The uses of biogas as an energy source for the operation of the equipment still meets the technological, and for lack of information, organization and often support technological and governmental institutions or NGOs. This study evaluated the technical feasibility, for implementation of the Biodigestors in Icolo-Bengo in Angola. We studied the implementation of Biodigestors, Indian Model, at Menga farm as well as potentially generating power existing in the production of biogas. The anaerobic treatment of swine waste as a renewable source of energy, within the concept of sustainable development and rationalization of production without aggression to the Environment are also referred to showing that this technology may be appropriate as conservation and energy efficiency electricity that is not much in this country. The use of anaerobic digestion in this case is possible and desirable, as it contributes to preservation of the environment, makes possible the modern systems of containment and reduces the cost of production as well as help in the production of electricity and fertilizers. An integrated system was proposed and will be implemented at the Menga farm, as one of the pioneer projects in Angola.

Keywords: Biodigestors. Pig slurry. Biogas. Bioelectricity.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Relação da Profundidade com o Diâmetro.....	35
Tabela 2	Características de Construção dos Modelos Chinês, Indiano e Batelada.....	38
Tabela 3	Custos de Materiais nos Estabelecimentos Comerciais	41
Tabela 4	Relação Biogás com Combustíveis Usuais	42
Tabela 5	Relação de Consumo de Biogás em Equipamentos	45
Tabela 6	Produção Diária de Dejetos por Animal Adulto	47
Tabela 7	Expectativa de Produção de Biogás por Biomassa	47
Tabela 8	Produção Diária de Dejetos nas Diferentes Fases.....	51
Tabela 9.	Composição Química de Dejetos de Suínos	51
Tabela 10.	Composição Média do Biogás.....	57
Tabela 11.	Capacidade de Geração de 1m ³ de Biogás	57
Tabela 12.	Distribuição da Carga Elétrica na Fazenda MENGA.....	80
Tabela 13.	Produção média de Dejetos nas Diferentes Fazes Produção dos Suínos	81
Tabela 14.	Dados Necessários para o Dimensionamento dos Biodigestores	83
Tabela 15.	Valores do Dimensionamento do Biodigestor Modelo Indiano.....	87
Tabela 16.	Compressão e Armazenamento de Biogás	92
Tabela 17.	Avaliação Econômica para os Cenários Analizados	98
Tabela 18.	Resultado das Avaliações Econômicas	98
Tabela 19.	Comparação entre os custos mínimos e máximos do biogás diante de outras formas alternativas de energia	100

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.	Biodigestor Modelo Chinês. Representação tridimensional em corte e vista frontal em corte, respectivamente	32
Figura 2.	Biodigestor Modelo Indiano. Representação tridimensional em corte e vista frontal em corte, respectivamente	34
Figura 3.	Biodigestor Modelo Batelada. Representação tridimensional em corte e vista frontal em corte, respectivamente	37
Figura 4.	Sistema integrado, produção de biogás, fertilizantes e energia elétrica.....	64
Figura 5.	Mapa de Angola com a Província do Bengo na cor Verde	66
Figura 6.	Relação do Peso do Suíno e os dejetos produzidos por dia	82
Figura 7.	Relação entre o Biogás Produzido e o Número de Suínos Necessário	82
Figura 8.	Biodigestor Proposto – Modelo Indiano	84
Figura 9.	Diagrama das Instalações dos Biodigestores e Utilidades na Fazenda Menga..	88
Figura 10.	Produção específica de biogás em função da diluição dos dejetos (SV; kg/m ³), para um TRH de 22 dias e temperatura da biomassa de 20 °C e 35 °C	90
Figura 11.	Produção específica de biogás em função da diluição dos dejetos (SV; kg/m ³), para um TRH de 30 dias e temperatura da biomassa de 20 °C e 35 °C.....	91
Figura 12.	Tempo de retorno do investimento em função da tarifa praticada na região com o sistema funcionando 12 e 24 horas por dia	96
Figura 13.	Tempo de retorno do investimento em função da tarifa praticada na região com o sistema funcionando 8 e 4 horas por dia	97
Figura 14.	Representação gráfica da análise econômica, avaliando o TIR e VPL do Investimento feito.....	99
Figura 15.	Turbina – Gerador, ALIBABA	105
Figura 16.	Turbina-Geradora BANCOR	106

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ONG	Organizações Não Governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
USP	Universidade de São Paulo
DQO	Demanda Química de Oxigênio
MINADER	Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural
TRH	Tempo de Retenção Hidráulica
SV	Sólido Voláteis
TRI	Tempo de Retorno do Investimento
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido
MCI	Motor de Combustão Interna
PEMFC	Membrana de Intercâmbio Protônico
PACF	Ácido fosfórico
MCFC	Carbono Fundido
SOFC	Óxido Sólido

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1	Introdução	27
1.2	História dos Biodigestores	28
2.2.1	<u>Definição de Biodigestor</u>	30
2.2.2	<u>Biodigestor Modelo Chinês</u>	31
2.2.3	<u>Biodigestor Modelo Indiano</u>	33
2.2.4	<u>Biodigestor Modelo Batelada</u>	36
2.2.5	<u>Outros Tipos de Biodigestores</u>	37
2.2.6	<u>Comparação entre os Diferentes Tipo de Biodigestores</u>	39
2.2.7	<u>Materiais, Dimensões e Volume de Carga do Biodigestor</u>	39
1.3	Produção, Características e Utilização do Biogás	42
1.3.1	<u>Principais Benefícios do Biogás para a Propriedade Suinocultura</u>	42
1.4	A biomassa Suína como Combustível do Biodigestor	45
2.4.1	<u>Poluição por Dejetos Suínos e a Legislação Ambiental</u>	48
2.4.2	<u>Dejetos de Suínos e a Poluição do Solo</u>	49
2.4.3	<u>Dejetos de Suínos e a Poluição da Água</u>	53
1.5	Produção, Características e Utilização do Biogás	55
1.6	Produção, Características e Utilização do Biofertilizante	58
1.7	Biomassa, biogás e geração de eletricidade via biogás	61
1.8	Biosistemas Integrados	62
1.8.1	<u>Definição de biosistemas Integrados</u>	63
2	MATERIAIS E MÉTODOS	
2.1	Procedimentos Metodológicos	65
2.2	Caracterização do Objeto de Estudo	66
3.2.1	<u>Perfil Topográfico e Climático de Icolo e Bengo</u>	66
3.2.2	<u>Perfil da Pecuária no Município de Icolo e Bengo</u>	68
2.3	Resultados da Pesquisa Realizada no Município de Icolo e Bengo	68
2.4	Tratamento do Biogás	69
3.4.1	<u>Remoção de Umidade</u>	71
3.4.2	<u>Remoção do Dióxido de Carbono</u>	71

3.4.3	<u>Remoção de H₂S</u>	74
3.4.4	<u>Remoção de Partículas</u>	76
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	
4.1	Projeto para Implantação de um Sistema Integrado de Biodigestores Modelo Indiano	78
4.2	Dimensionamento dos Biodigestores na Propriedade Menga	79
4.2.1	<u>Espaço Físico</u>	79
4.2.2	<u>Demanda Energética</u>	80
4.2.3	<u>Poder Calorífico do Biogás</u>	80
4.2.4	<u>Dimensionamento do Biodigestor Modelo indiano</u>	81
4.3	Metodologia de Recolhimento dos Dejetos	89
4.4	Tempo de Retenção Hidráulica	89
4.4.1	<u>Temperatura da Mistura</u>	91
4.5	Cuidados ao instalar um biodigestor	91
4.6	Operação e Carregamento dos Biodigestores	92
4.7	Compressão e Armazenamento de Biogás	92
4.7.1	<u>Medidas de Segurança para Armazenamento e Utilização do Biogás</u>	93
4.8.	Análise Econômica de Produção de Energia Elétrica via Biogás em Suinoculturas	93
4.8.1	<u>Retorno do Investimento</u>	94
4.8.2	<u>Taxa Interna de Retorno e Valor Presente Líquido</u>	98
4.9	Tecnologia de Conversão Energética do Biogás	101
4.9.1	<u>Motor de Combustão Interna Alternativo</u>	101
4.9.2	<u>Caldeiras</u>	103
4.9.3	<u>Motores Stirling</u>	104
4.9.4.	<u>Turbinas a Biogás</u>	104
4.9.4.1.	Modelos Existentes.....	105
4.9.4.2.	Características e Especificações.....	106
4.9.4.3	Capacidade e Manutenção das Turbinas	106
4.10.	Micro Turbinas a Gás	107
4.11.	Outras Tecnologias	108
4.11.1	<u>Células a Combustível</u>	108
5.	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	
5.1	Conclusões	110

5.2.	Considerações Finais	110
5.3.	Continuidade do Projeto	112
	REFERÊNCIAS	114
	ANEXO 1: Projeto de Instalação de um Biodigestor Modelo Indiano – Fazenda Menga.....	
	ANEXO 2: Formulário da Pesquisa Realizada no Município de Icolo e Bengo – Angola.....	

INTRODUÇÃO

A necessidade de atender a demanda energética nas diversas áreas causando o mínimo de impacto social ou ambiental faz surgir à busca e exploração de fontes energéticas alternativas. As tecnologias que convertem a energia disponível na natureza sejam do vento, da água, do sol ou dos combustíveis fósseis permitem que o homem aumente sua capacidade de trabalho, Gadanha *et al.* (1991). No setor agrícola, o aumento na produção de alimentos está diretamente relacionado à produção de energia, Kolling (2001). Para Lorenzo (1994), a eficiência energética e redução no consumo, bem como o aumento futuro da demanda, deverão ser baseadas nas fontes renováveis, que deverão formar o alicerce da matriz energética mundial. De acordo com Palz (1995), o aproveitamento da biomassa, do vento, do sol e de pequenos potenciais hidráulicos, são as fontes alternativas mais promissoras, e Souza (1993), acrescenta que o aproveitamento dos potenciais citados surge como alternativas não poluentes e economicamente viáveis em determinadas condições para atividades agrícolas.

Usando biodigestores, é possível, através dos dejetos animais, notadamente de suínos, bovinos e de aves, ou qualquer outra biomassa, produzir biogás, e, com este gerar energia elétrica. Os modernos sistemas de produção têm como objetivo principal a produção racional sem contaminação do Meio Ambiente.

Os Biodigestores consistem basicamente de um tanque de fermentação anaeróbica de matérias orgânicas frescas, substrato ou biomassa, produzindo um gás combustível composto essencialmente de metano e dióxido de carbono, o chamado biogás, Oliveira (2005). Estes aparelhos são hoje muito difundidos e utilizados em propriedades suinícola ou nas propriedades rurais em geral, com a finalidade de se produzir biogás e, com este se produzir energia elétrica.

Países que dispõem de melhor tecnologia conseguem reduzir a área, o número de animais e a quantidade de trabalhadores necessários à produção agrícola. Da mesma forma, o uso racional dos insumos e o correto manejo dos resíduos, permitem aperfeiçoar os sistemas produtivos de maneira a se obter convívio harmonioso entre o homem e o Meio Ambiente.

Angola é um País com um crescimento aceitável. Pretende-se manter este crescimento e notabilizá-lo na África Austral. Este crescimento, para que tenha repercussão direta com o desenvolvimento do País, é necessário se começar a pensar e desenvolver alternativas para se gerar energia e preservar o meio ambiente. A dependência excessiva do Petróleo, para se gerar energia, faz com que vários projetos não sejam implantados em Angola. A energia consumida no país é ainda majoritariamente dependente do Petróleo, através de

termoelétricas. Mesmo com as hidroelétricas existentes, estas não conseguem ainda responder a demanda. Segundo especialistas, mesmo com a construção das novas hidroelétricas em projeto, estes não conseguirão ainda assim responder pela demanda atual e que é crescente a cada dia. Com isto, para que um projeto agropecuário tenha sucesso em Angola, deve-se levar em consideração a origem de sua energia. Uma geração local de energia é garantia de sucesso, pois, por além de ser deficiente, a distribuição de energia no País também é escassa e muito concorrida.

A atividade de suinocultura é uma das atividades agropecuárias de maior potencial poluidor, considerando-se a grande concentração de animais em um espaço reduzido e manejo inadequado dos dejetos. Esta é uma tendência em Angola, tendo em conta o crescimento das suinoculturas.

No Brasil, um dos países com a tecnologia de biodigestão em pleno uso e crescimento, as pesquisas para utilização do biogás proveniente da biodigestão são realizadas principalmente na região sul, onde se concentram grandes criadores de suínos, aves e bovinos. Entretanto, foi na região nordeste que houve interesse dos pesquisadores em aproveitar a biomassa gerada nas pequenas e médias propriedades rurais, devido ao clima quente que favorece o desenvolvimento das bactérias que realizam a fermentação, liberando biogás (OLIVEIRA, 2005).

Sabe-se que os dejetos de suínos são resíduos altamente poluidores, que prejudicam o meio ambiente, em especial a qualidade da água e o desenvolvimento de peixes e outros organismos aquáticos. Os dejetos de suínos são mais poluentes que o esgoto urbano e representam um grande problema ambiental, por serem altamente poluidores. No Brasil e na Europa, Konzen (1980); Dourmad *et al.* (1999); Van Der Peet-Schwering *et al.* (1999); Oliveira (2005) complementam que cada matriz, em uma granja de ciclo completo, produz até 25 m³ de dejetos ao ano, que se compõem de esterco, urina, desperdícios de água de bebedouros ou de limpeza, resíduos de rações, etc. A composição dos dejetos está associada ao sistema de manejo adotado, podendo apresentar grandes variações na concentração de seus componentes, dependendo da diluição e do modo como são manuseados e armazenados. A urina influi significativamente na quantidade de liquame que, por sua vez, depende diretamente da ingestão de água. Em geral, cada litro de água ingerido por um suíno resulta em 0,6 L de dejetos líquidos (OLIVEIRA, 1994).

O total de dejetos produzidos varia de acordo com o desenvolvimento corporal dos suínos, apresentando valores decrescentes de 8,5 a 4,9% de seu peso vivo dia⁻¹, considerando a faixa dos 15 aos 100 kg de peso vivo (JELINEK, 1977).

A fermentação da matéria orgânica contida nos dejetos de suínos resulta na produção de odores, que são fonte de poluição ambiental e podem ser um entrave para a intensificação da suinocultura (MACKIE *et al.* 1998).

O fósforo, analogamente ao nitrogênio, é um nutriente muito importante para o crescimento e a reprodução de microrganismos que promovem a estabilização da matéria orgânica, porém o efluente rico em fósforo pode provocar proliferação excessiva de algas no curso d'água receptor, Silva *et al.* (2003). Sharpeley *et al.* (2000) complementam que o excesso de fósforo na água acelera a eutrofização, que é a principal causa de deteriorização da qualidade da água.

O consumo médio de 5,5 L de água suíno⁻¹ dia⁻¹ foi encontrado por Mamede (1980), considerando suínos com peso na faixa de 36 a 97 kg e o método adotado foi o de higienização das instalações e dos animais.

A literatura mundial relata inúmeros processos de tratamentos e aproveitamento de resíduos orgânicos, destacando os processos biológicos, sejam os aeróbios (lodo ativado, lagoas de estabilização aeróbia, etc.), sejam os anaeróbios (biodigestores, lagoas de estabilização anaeróbia, etc.).

Devido ao crescimento da população humana e em virtude da demanda sempre crescente por alimentos, a cada dia, os produtores de carne vêm adotando, por meio de confinamento, os “Sistemas Intensivos de Produção Animal”. Isto ocorre principalmente próximo aos grandes centros consumidores, onde a poluição ambiental é um fator de grande risco à sobrevivência do homem e dos animais (CAMPOS, 1998).

Um dos maiores problemas destes sistemas é a grande quantidade de resíduos produzidos diariamente devido à elevada concentração de animais. Estes resíduos constituem-se de dejetos, de material usado nas camas, de água com produtos utilizados na limpeza, de restos de animais (pêlos e células mortas) etc. Os dejetos, que se constituem a maior parte dos resíduos, contém a parte sólida, que são as fezes, e a parte líquida que é a urina. O destino final dos resíduos tem se constituído num problema para criadores e especialistas, pois envolve aspectos técnicos, sanitários e econômicos.

Nos últimos anos, o destino final dos resíduos urbanos, industriais e agrícolas e a poluição ambiental tornaram-se assunto de grande relevância mundial, chegando até mesmo, ser alvo de grande conferência mundial promovida pela ONU e outras entidades a nível mundial (Silva, 1998). Estas conferências reúnem normalmente, os principais estadistas do mundo para tratar dos problemas causados pelo homem ao Meio Ambiente e propor normas

de conduta a serem seguidas por todos os habitantes do planeta, com a finalidade de reduzir a agressão causada pelo homem à natureza, em todos os níveis.

Atualmente, em Angola, como não poderia ser diferente, se faz necessário se adequar ao manejo dos resíduos, tendo em vista a necessidade de preservação ambiental. Isto se faz pelo aspecto prático e racional, como também pelo aspecto legal, uma vez que existem leis que regulamentam o assunto, em nível internacional.

Com o objetivo de atender às exigências práticas e legais, torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologia apropriada para o tratamento dos resíduos a cada caso, tornando mais eficiente o tratamento e minimizando, deste modo, o impacto ambiental que estes podem provocar.

Portanto, um manejo adequado dos resíduos é uma necessidade sanitária, ecológica e econômica. Sanitária, porque os resíduos podem prejudicar a saúde dos animais e do homem, tanto dentro como fora da propriedade. Ecológica, porque os resíduos, ricos em matéria orgânica e nutrientes, causam poluição e desequilíbrio no Meio Ambiente. O aspecto econômico é também muito relevante porque o tratamento dos resíduos envolve recursos de equipamentos, de material e de mão de obra, que oneram o sistema produtivo e podem até mesmo inviabilizá-lo.

Um aspecto positivo dos sistemas pecuários é que os resíduos orgânicos são insumos de produção agrícola, quando estabilizados e reciclados adequadamente no solo, podendo estes incrementar a produção. Isto porque, os resíduos constituem-se, na sua grande maioria, de dejetos que são componentes orgânicos naturais do meio e, portanto, em última instância, quando adequadamente tratados, podem contribuir para a melhoria da produção vegetal e, por conseqüência, da produção animal. Assim, embora sejam chamados de resíduos com grande capacidade de poluição, na verdade são de fato recursos a serem reciclados no ecossistema natural (VAN HORN *et al.*, 1994).

O desenvolvimento da tecnologia de utilização da digestão anaeróbia é um dos mais promissores no campo da biotecnologia, uma vez que é fundamental para promover, com grande eficiência, a degradação de resíduos orgânicos, que são gerados em grandes quantidades nas modernas atividades rurais e industriais. À medida que, os sistemas de produção animal se intensificam e se modernizam se intensificam, também, as necessidades energéticas e de tratamento dos resíduos (LUCAS JÚNIOR, 1987).

Contudo, as maiores dificuldades são a falta de recursos, muitas vezes destinados, ainda, a sistemas baseados em combustíveis fósseis, nucleares hidrelétricos, e ao planejamento de curto prazo, de custos internos e da atividade de construção e de operação,

que hoje dominam na análise financeira e econômica de novo empreendimento. “Contudo, a utilização das fontes renováveis é essencial para a garantia do suprimento de energia e da constituição de um ambiente equilibrado no futuro”.

Sistemas nos quais, além da criação de suínos, haja também matadouros, os dejetos nas baias somados aos restos do abate, podem ser utilizados num sistema integrado aumentando, assim, a quantidade de biomassa que pode ser estimada e usada como recursos de suprimentos, tanto de energia como de biofertilizante. Porém, quando este é inadequadamente planejado, o excesso de resíduos pode se constituir em um problema e torna-se desperdício que causa desequilíbrio ambiental. Em tais circunstâncias, a sociedade tem que coibir este desequilíbrio e exigir que seja feito o processamento adequado, até mesmo quando os custos deste processamento excedem ao valor dos recursos recuperados.

Desta forma, o melhor sistema de tratamento dos resíduos pecuários deve ser projetado para minimizar o impacto ao Meio Ambiente e maximizar a recuperação dos recursos energéticos e fertilizantes que estes contêm, com o objetivo de aproveitá-los no aumento da produtividade.

1.1. Exposição do Assunto

A suinocultura constitui presença marcante em Angola, tanto no meio rural como nas periferias urbanas. Os suínos são animais bastante criados e consumidos em todo o país. Foram registradas produções consideráveis em explorações extensivas e semi-intensivas, nas cinturadas verdes das principais cidades do país, onde se encontra até agora capacidade instalada para as produções, embora grande parte das infra-estruturas esteja a degradar-se e muitas em estado de abandono. Existe, atualmente, uma reativação do setor, fruto dos incentivos que o Governo de Angola vem oferecendo aos pequenos e médios produtores. Os maiores núcleos se encontram em Benguela (Ganda), no Huambo, Huíla, Luanda e Bengo. Além da carne fornecem matéria prima para a indústria de salsicharia (embutidos).

As raças autóctones, como a Jambona Munhandá, Suíno do Bengo e Suíno do Kunene criadas soltas no meio rural e nas periferias urbanas, caracterizam-se pela sua capacidade de se alimentar de restos de alimentos nas cercanias e lixeiras e algum suplemento majoritariamente constituído por farelo, restos de culturas alimentares, etc. As raças exóticas introduzidas e criadas em regime intensivo, e de alguma forma adaptadas, são: Large White, Landrace, Duroc, nos últimos anos, continuamente importados. Os biotipos Ganda I, II e III são ainda muito frequentes e espalhados por todo o território com maior incidência no Sul em estado presumível de consangüinidade, Minader (2004). Segundo esse autor, a suinocultura

em Angola, não consegue responder a demanda nacional. Fornecimento de carne suína no mercado Angolano é feito, em sua maior parte, através de carne suína importada.

A incorporação dos dejetos de suínos ao solo contribui para a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, contribuindo para o aumento da produção e a produtividade agrícola. A poluição do meio ambiente na região produtora de suínos é alta, pois enquanto para o esgoto doméstico, o DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxigênio) é de cerca de 200 mg/litro, o DBO5 dos dejetos suínos oscila entre 30.000 e 52.000 mg/litro, ou seja, em torno de 260 vezes superior. (LIMA, 2001, p. 1).

Outra possibilidade de remanejamento do esterco suíno reside na sua utilização como biofertilizante. Os dejetos de suínos podem ser usados na fertilização das lavouras, trazendo ganhos econômicos ao produtor rural, sem comprometer a qualidade do solo e do meio ambiente. Para isso, é fundamental a elaboração de um plano técnico de manejo e adubação, considerando a composição química dos dejetos, a área a ser utilizada, a fertilidade e tipo de solo e as exigências da cultura a ser implantada. No campo, através da determinação da densidade dos dejetos, é possível estimar a sua composição em nutrientes e calcular a dose adequada a ser aplicada para uma determinada cultura.

Angola importa fertilizante e não existem ainda perspectivas de que esta importação diminua nos próximos anos. Com o desenvolver do setor agrário, a demanda por fertilizantes cresce ano a ano.

A produção de energia através de fontes renováveis, é uma aposta do Governo de Angola. Existem incentivos para projetos cuja energia é localmente produzida e ou que produzam energia elétrica com o excedente que possa beneficiar localidades vizinhas.

Atualmente, em Angola, a suinocultura, normalmente, possui uma mão-de-obra tipicamente familiar e constitui uma importante fonte de renda e de estabilidade social. A produção de dejetos suínos, atualmente, não representa um fator muito preocupante, uma vez que a concentração de animais é relativamente pequena e o solo das propriedades suinoculturas (rurais), possui, até o momento, capacidade para absorver o volume de dejetos produzidos. Assim sendo, não existe uma preocupação direta fruto da contaminação por dejetos de suínos.

Com os incentivos vigentes há, atualmente, um crescimento de suinoculturas. Desse modo, a produção de suínos tende a aumentar e, conseqüentemente, a de dejetos também. Com isso, a poluição de determinados mananciais de água Angolanas vai aumentar drasticamente, pois o déficit de oxigenação de uma fonte de água atingida pela contaminação de esgoto doméstico é muitíssimo menor do que o produzido pela contaminação com dejetos

de suínos Gaspar (2003). As águas atingidas pela emissão de efluentes das pocilgas perdem, em pouco tempo, a capacidade de manutenção da vida da fauna e flora aquáticas.

Até ao momento, não há registros de suinoculturas que possuam sistemas para o tratamento ou aproveitamento dos dejetos. O que sinaliza que as fontes de água do meio rural das regiões produtoras estão contaminadas por coliformes fecais, e outros contaminantes oriundos do lançamento dos dejetos suínos em cursos ou mananciais d'água.

Um suíno adulto (pesando cerca de 60 kg) produz em média 2.49kg de dejetos por dia, sendo que, pelo número de suínos que possui o País, pode ainda não ser preocupante a quantidade de dejetos. Mas, para os novos projetos e o crescimento das suinoculturas existentes, já é obrigatório o tratamento dos dejetos nas suinoculturas.

É preciso evitar que uma massa tão grande de dejetos seja lançada nos mananciais d'água destas regiões onde as suinoculturas se localizam, pois comprometem a qualidade de vida das populações rurais e urbanas do país e a sobrevivência da fauna e da flora das regiões vizinhas a tais mananciais.

Uma das primeiras alternativas viáveis a serem empregadas na diminuição dessa forma de poluição talvez seja a racionalização da alimentação dos animais. Uma alimentação adequada dos suínos diminuirá não só a capacidade poluidora de suas fezes, mas também o volume diário emitido pelos mesmos, mas para o tipo de criação existente no país, que é a criação a céu aberto, dificulta no controle na alimentação dos mesmos.

Embora todas estas medidas auxiliem muito na diminuição da contaminação dos rios por dejetos suínos, elas acabam se chocando com fatores restritivos importantes. Assim, a utilização de dejetos puros (sem sofrer transformação anaeróbica) como adubo não pode ultrapassar o limite máximo de absorção do solo da propriedade rural.

Uma das medidas mais eficazes no combate à poluição dos rios é a disseminação da implantação de biodigestores nas propriedades rurais criadoras de suínos. Para isso, é necessário que os suínos sejam criados num sistema fechado, organizado em baias com pisos cimentados, de forma que a coleta dos dejetos seja facilitada. Os dejetos são, adequadamente, em seguida diluídos em água e a solução conduzida para biodigestores. Dentro destes, o volume de esterco suíno produzido é fermentado, anaerobicamente, isto é, sem a presença do ar atmosférico, produzindo biogás e biofertilizante. Ressalte-se que o biodigestor é um depósito destinado a conter a biomassa e o produto desta, o biogás. No interior dele, as bactérias metalogênicas degradam a matéria orgânica produzindo o biogás.

Neste sentido, o biodigestor apresenta-se como fonte alternativa de produção e geração de energia. Evidentemente, a quantidade de energia produzida é limitada e, geralmente, não

supre em 100% a demanda total da propriedade. Mas, dá uma boa contribuição no balanço econômico final. Por outro lado, os efeitos nos impactos ambientais e sociais são excelentes.

Concluindo, os dejetos produzidos na propriedade são transformados em gás e os resíduos deste processo ainda podem ser utilizados como fertilizante o que ajudaria economizar com gastos em fertilizantes. Em adição, a propriedade pode também criar uma linha de hortaliças e outros produtos orgânicos, que possuem elevado valor agregado.

1.2. Discussão do Tema e do Problema

Uma das grandes discussões da atualidade em âmbito tecnológico, gira em torno das fontes alternativas de energias. A energia elétrica é considerada a maior de todas as inovações tecnológicas produzidas pelo homem, sem ela não seria possível presenciar o enorme desenvolvimento em diversas áreas do conhecimento humano. A eletricidade pode ser gerada de várias formas, mas, é sempre resultado da transformação de outras formas de energia.

Algumas formas de energias consumidas como a solar, eólica, hídrica e a biomassa, são renováveis. Entre estas, a biomassa pode ser constantemente renovada. Mas, energias oriundas dos combustíveis fósseis, que levam milhões de anos para se formarem não podem ser produzidas de um dia para o outro.

A utilização das energias renováveis em substituição aos combustíveis fósseis é uma direção viável e vantajosa, pois, além de serem praticamente inesgotáveis apresenta um baixo impacto ambiental, sem afetar o balanço térmico ou composição atmosférica do planeta. Graças aos diversos tipos de manifestações, disponibilidade de larga abrangência geográfica e variadas possibilidades de conversão, as energias renováveis são bastante próprias para geração distribuída e autônoma.

O desenvolvimento das tecnologias para o aproveitamento das energias renováveis poderá beneficiar comunidades rurais e regiões afastadas bem como a produção agrícola através da autonomia energética e conseqüente melhoria global da qualidade de vida dos habitantes. Certamente diminuiria o êxodo rural e a má distribuição de renda.

Nas propriedades rurais, em especial as voltadas para a criação e abate de animais e aves, são produzidas, diariamente, uma enorme quantidade de dejetos oriundos destes animais ou aves. Além disso, há também os resíduos derivados do abate destes rebanhos: sangue, miúdos não aproveitáveis (como pulmões, baço, pâncreas, rins, etc), carcaças, vísceras e couros, entre outros. Enquanto algumas propriedades preocupam-se com o tratamento e

minimização dos efeitos danosos da ação destes resíduos, a grande maioria limita-se a depositá-los no meio-ambiente (rios, ribeirões, açudes, lagoas, ou, no meio da mata).

É do conhecimento geral de que a indústria, entretanto, apesar de ser o setor poluidor mais ativo, não é a única neste processo. Existe a contribuição de propriedades singulares que, quando somadas, os danos são maiores. Além da atividade poluidora das grandes cidades, os campos e as áreas rurais, também participam ativamente neste processo negativo.

Existem propriedades, em escala muito reduzida que utilizam parte dos dejetos para a adubação de plantações, em geral monoculturas, voltadas para a produção de ingredientes de rações ou para produção de pasto. Esta adubação é feita pela mera aspersão do material orgânico sobre ou no meio das plantas, ou deixada no subsolo, coberto com terra, ou, ainda, misturado com terra na área a ser semeada posteriormente. Todos estes procedimentos descritos apresentam um grande potencial poluidor, uma vez que a aspersão a céu aberto atrai moscas, mosquitos, baratas e outros insetos transmissores de doenças, bem como animais silvestres igualmente vetores de doenças, como são o caso de ratos, tatus e gambás. Ao enterrar os detritos, por sua vez, não se prevê o fato de que muitas das sementes das plantas ingeridas pelos animais/aves passam intactas pelos sistemas digestivos e podem vir a contaminar e infectar as plantações que vierem a ser semeadas no local. Segundo Gaspar (2003), os detritos colocados dentro da terra são mais facilmente transportados para os lençóis freáticos pela ação da infiltração das chuvas.

Como o foco desse projeto é a análise do manejo dos dejetos de Suínos, para se produzir energia, elétrica, outras matérias que teriam também destaque acabam por não ser mencionados para não se desviar do tema proposto, para se realizar com sucesso o projeto.

Pesquisas realizadas com sucesso mostram que a construção de biodigestores, em propriedades rurais, pode trazer enormes benefícios para a população local e principalmente uma enorme contribuição a produção de energia nessas propriedades.

Seguindo exemplos de Países como Brasil que já possuem um grande avanço nesta matéria, é também uma das soluções, uma vez que os resultados alcançados pela conservação dos recursos hídricos do país e, em particular da região de Icolo Bengo, afetam diretamente o padrão de vida das populações não só daquela cidade, mas também das áreas próximas à mesma. Carente de estudos científicos capazes de sugerir soluções e, por vezes, por falta de incentivos, um estudo que venha a apontar soluções plausíveis de um problema social tão importante deve ser analisado com cuidado e, preferencialmente, ser utilizado como ponto de apoio para estudos mais profundos e melhor direcionado a outros aspectos não incluídos na pesquisa empreendida.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Gerar bioenergia utilizando dejetos suínos em propriedades de suinoculturas, a partir de um estudo de implantação de biodigestores na região de Icolo e Bengo, em Angola.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Fazer um estudo sobre implantação de biodigestores na região, e estimular o tratamento de dejetos suínos, fazendo uma análise das propriedades existentes, para que se possa escolher, o tipo de biodigestor que corresponde às características destas, assim como, mostrar os impactos causados pelos dejetos quando não tratados.
- Construir um sistema integrado de produção de energia elétrica, utilizando os dejetos suínos na propriedade – Menga, na região de Icolo Bengo, na província do Bengo em Angola.

1.4. Limites, Abrangência e Aplicabilidade do Estudo.

Qualquer estudo apresenta determinadas limitações, Este não fugirá a regra porque encontra um terreno completamente fértil, mas, muito pobre em literatura própria e de condições de se fazer uma pesquisa completa, não permitindo ser o mais abrangente como se requer. Tais limites explicam-se porque os assuntos tratados ocorrem em ambientes dinâmicos, com as mudanças, ocorrendo em grande velocidade e escala. Com isso, no final deste estudo, certamente muitas variáveis deixaram de ser analisadas. Por outro lado, outras surgiram durante o transcorrer da sua elaboração.

Pelo foco que se desejou dar a esse trabalho, ficou mais limitado ainda porque não se encontrou literatura suficiente que auxiliasse, no estudo da região a que se propôs a estudar. Frente a isso, deve-se esclarecer que a abrangência desta dissertação se restringiu à área de suinocultura representada na fazenda MENGA, situada na região da cidade de Icolo e Bengo, na Província do Bengo em Angola. Assim sendo, os resultados alcançados neste estudo terão em vista a possível aplicação voltada para Icolo e Bengo, e sua validade restrita às circunstâncias encontradas. Tais resultados não devem ser, portanto, generalizados, mas sim adaptados às condições e situações presentes em outras localidades. Entende-se, assim, que os

frutos desta pesquisa não são um modelo acabado, pois o dinamismo com que as teorias evoluem acabam por excluir tal possibilidade. Por se tratar de um projeto com uma implantação imediata, acreditou-se no melhoramento do projeto ao longo da sua implantação.

1.5. Organização do Trabalho

No primeiro capítulo, procurou-se introduzir o tema de uma forma para que se pudesse ter uma definição dos principais termos e o problema de pesquisa. Traçaram-se os objetivos, mostrou-se a justificativa da escolha do projeto, expôs-se a metodologia de estudo empregado e as limitações a que o projeto foi desenvolvido.

No segundo capítulo abordou-se a parte teórica, uma pesquisa essencialmente baseada na literatura Brasileira que já possui um notável avanço na matéria, sem descartar a literatura em geral disponível através de artigos, livros teses de mestrado, doutorados, trabalhos de finais de cursos, revistas, jornais, sítios sobre assuntos relacionados, etc. Foi mostrada a parte teórica sobre o tema da utilização do biodigestor na preservação dos mananciais d'água na própria produção de energia, através de estudo sobre os resultados alcançados por países que, desde longa data, empregam com eficácia o biodigestor. Os diversos tipos de biodigestor existentes foram abordados, verificando-se as qualidades e defeitos de cada um e quais os mais indicados para serem adequados às condições climáticas da região em estudo em particular e do país em geral. Custo de construção, tamanho e condições climáticas favoráveis para a construção do biodigestor em relação à área da propriedade rural e sistemas de alimentação de dejetos (contínua ou intermitente), foram analisados minuciosamente, com vistas a se elaborar um quadro completo das vantagens e desvantagens da instalação de cada tipo de biodigestor nas propriedades rurais. Também foram exibidas as diferentes metodologias utilizadas para o tratamento de biogás, por ser um assunto ainda fechado, porque muitas das metodologias utilizadas encontram-se patenteadas, e sua difusão ainda é restrita. Limitou-se, portanto, a citar algumas que a literatura fornece.

No terceiro capítulo, foi apresentada a metodologia utilizada no projeto, identificação dos procedimentos metodológicos adotados, a natureza do projeto, suas características e condução, além do tratamento dos dados que foram recolhidos. Foi feito um levantamento junto a propriedades suinícola e entidades ligadas no setor, sobre a massificação das suinoculturas, biodigestores, tratamentos de dejetos de suínos e as conseqüências advindas do não tratamento dos mesmos bem como a localização, identificação e o nível de organização

em que se situam as propriedades suinocultores da Província do Bengo, precisamente na região de Icolo Bengo.

O quarto capítulo mostrou a implantação do biosistema integrado que foi proposto. Buscou-se os custos de eletricidade necessários, usando-se a rede pública como fonte de energia. Foram apresentadas as características físicas da fazenda e os custos de manutenção da mesma. Definiu-se o tipo de biodigestor a ser utilizado o seu dimensionamento, a escolha do sistema de produção de energia e a distribuição do biogás nas dependências projetadas. Fez-se uma análise econômica, da produção de biogás através de dejetos suínos, levando-se em conta o investimento feito, a taxa de imposto e desconto praticada e, com isto, calculou-se o tempo de retorno do investimento, utilizando-se modelos existentes na literatura. Falou-se sobre a tecnologia de conversão energética do biogás. Neste capítulo, foram descritos os motores e turbinas adaptáveis a esta tecnologia, assim como as recentes inovações no setor.

As conclusões e considerações finais encontram-se no quinto capítulo, onde foram colocadas as conclusões obtidas bem como as recomendações para os suinocultores, entidades governamentais e para a sociedade em geral. Esta em aberto para que trabalhos futuros que possam dar continuidade ao estudo ou melhorá-lo em aspectos de detalhe ou focar em particularidades abordadas neste projeto, com o objetivo de aumentar os recursos bibliográficos sobre estudos desta natureza nesta região.

Para terminar, o sexto capítulo foi reservado para as referências bibliográficas

No Anexo 1 é detalhado o Projeto de Instalação de 10 Biodigestores Modelo Indiano, para produção de 75m^3 de Biogás por dia para cada biodigestor.

No Anexo 2, é mostrado o formulário utilizado na enquete realizada na Província do Bengo, no município de Icolo Bengo em Angola.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Introdução

As bibliografias Brasileiras foram as mais consultadas devido à maior oferta, bem como semelhanças em termos climáticos ambientais e até cultural entre Angola e Brasil. Pesquisou-se as principais características, funções e modelos mais conhecidos de biodigestores, bem como as características específicas da biomassa, do biogás, e do biofertilizante, formas de utilização dos mesmos, além da descrição dos danos causados pelos dejetos suínos ao meio-ambiente.

Enfatizou-se as experiências com biodigestores nas diversas regiões do Brasil e outros países, de onde foram colhidos dados para a discussão sobre a viabilidade dos biodigestores auxiliarem no combate à poluição por dejetos de suínos e principalmente para utilização destes dejetos para a geração de energia elétrica e fertilizante.

O adequado manejo do resíduo é um requisito básico ao sucesso de qualquer empreendimento agropecuário Haridoim (1999). De forma mais simplificada, o suíno usado para a produção de Carne, pode ser analisado como uma máquina que processa o alimento convertendo uma parte deste no produto em carne e outros produtos de valor agregado (pele, gordura, órgãos internos, pêlos, ossos, unhas, cartilagens, etc). O restante é eliminado na forma dejetos (sólidos e líquidos) que possuem uma grande capacidade de poluição.

De uma forma cíclica, a poluição causada pelos resíduos pecuários, acaba provocando danos ao próprio animal, ao homem que trabalha no sistema produtivo e ao Meio Ambiente como um todo, uma vez que pode ser a causa de doenças nos animais e no homem ocasionando prejuízo ao próprio empreendimento.

2.2. A História dos Biodigestores

Não há registros de instalações de Biodigestores em Angola. Este assunto é novo para a literatura Angolana. Alguns estudos não muito profundos sobre aplicabilidade de sistemas que possuem biodigestores são realizados na região sul de Angola, mais propriamente no Instituto Técnico Agrário de Chivinguiro, na Província da Huíla, onde as pesquisas são realizadas.

Segundo Gaspar (2003), embora a primeira instalação operacional destinada a produzir gás combustível só tenha surgido na segunda metade do século XIX, o biogás já era conhecido desde há muito tempo, pois a produção de gás combustível, a partir de resíduos orgânicos, não é um processo novo. Já em 1776, o pesquisador italiano Alessandro Volta

descobriu que o gás metano já existia incorporado ao chamado "gás dos pântanos", como resultado da decomposição de restos vegetais em ambientes confinados. Em 1806, na Inglaterra, Humphrey Davy identificou um gás rico em carbono e dióxido de carbono, resultante da decomposição de dejetos animais em lugares úmidos. Apenas em 1857, em Bombaim, Índia, foi construída a primeira instalação operacional destinada a produzir gás combustível, para um hospital de hansenianos.

Nessa mesma época, pesquisadores como Fisher e Schrader, na Alemanha, e Grayon, na França, entre outros, Nogueira (1986) estabeleceram as bases teóricas e experimentais da biodigestão anaeróbia. Posteriormente, em 1890, Donald Cameron projetou uma fossa séptica para a cidade de Exeter, Inglaterra, sendo o gás produzido utilizado para iluminação pública. Uma importante contribuição para o tratamento anaeróbio de esgotos residenciais foi feita por Karl Imhoff, na Alemanha, que, por volta de 1920, desenvolveu um tanque biodigestor, "o tanque Imhoff", bastante difundido na época. (NOGUEIRA, 1986).

Pela literatura existente, o primeiro biodigestor foi posto em funcionamento regular na Índia, no início deste século, em Bombaim. Em 1950, Patel instalou, ainda na Índia, o primeiro Biodigestor de sistema contínuo. Na década de 60, Fry, um fazendeiro, desenvolveu pesquisas com biodigestores da África do Sul. (SGANZERLA, 1983).

O primeiro biodigestor batelada o qual recebeu carga total de biomassa e somente é esvaziado após a total conversão da biomassa em biofertilizante e biogás foi segundo Seixas *et al* (1980), "posto em funcionamento em Bombaim (1900). Durante e depois da Segunda Grande Guerra, alemães e italianos, entre os povos mais atingidos pela devastação da guerra, desenvolveram técnicas para obter biogás de dejetos e restos de culturas".

Inegavelmente, a pesquisa e desenvolvimento de biodigestores desenvolveram-se muito na Índia, onde, em 1939, o Instituto Indiano de Pesquisa Agrícola, em Kanpur, desenvolveu a primeira usina de gás de esterco. Segundo Nogueira (1986), o sucesso obtido animou os indianos a continuarem as pesquisas, formando o *Gobar Gás Institute* (GGI), comandado por Ram Bux Singh (1950). Tais pesquisas resultaram em grande difusão da metodologia de biodigestores como forma de tratar os dejetos animais, obter biogás e ainda conservar o efeito fertilizante do produto final (biofertilizante). Foi esse trabalho pioneiro, realizado na região de Ajitmal (Norte da Índia), que permitiu a construção de quase meio milhão de unidades de biodigestão, no interior daquele país.

A utilização do biogás, também conhecido como *gobar gás* (que em indiano significa gás de esterco), como fonte de energia motivou a China a adotar a tecnologia a partir de 1958, onde, até 1972, já haviam sido instalados 7,2 milhões de biodigestores na região do Rio

Amarelo. Tal localização não é acidental, pois as condições climáticas da região a tornam propícias para a produção de biogás.

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.

Segundo Gaspar (2003), o interesse da China pelo uso de biodigestores deveu-se, originalmente, a questões militares. Preocupada com a Guerra Fria, a China temeu que um ataque nuclear impediria toda e qualquer atividade econômica (principalmente industrial). Entretanto, com a pulverização de pequenas unidades biodigestores ao longo do país, algumas poderiam escapar ao ataque inimigo. No caso de uma guerra, poderia significar a destruição quase total da civilização. O ataque às centrais energéticas (usinas hidroelétricas) representaria o fim de toda a atividade econômica. Isso porque a energia deixaria de ser disponível nos grandes centros, mas naqueles pequenos centros, as pequenas unidades de biodigestão conseguiriam passar incólumes ao poder inimigo. A descentralização, portanto, implica em criar unidades suficientes nas pequenas vilas, vilarejos e regiões mais longínquas. Desnecessário dizer a razão pela qual os biodigestores fizeram parte da estratégia. (BARRERA, 1993).

Atualmente, contudo, o motivo da manutenção e expansão do programa de biodigestores é bem mais simples e urgente. Como a China possui milhões de pessoas para alimentar, não é possível ou recomendável mecanizar a atividade agrícola em larga escala, pois o uso de tratores e demais implementos resultaria em um índice de desemprego rural alarmante, criando uma massa de trabalhadores ociosos e descontentes. Um perigo social e político nem um pouco desejável. Assim, o governo chinês optou pelo aproveitamento e aperfeiçoamento de rudimentares técnicas de cultivo do solo, com os biodigestores desempenhando papel de destaque.

A Índia não pensava em guerras nucleares (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. Barrera (1993) lembra que a Índia (ao contrário da China) não é 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.

Encontram-se aí dois extremos da utilização de biodigestores. Chineses buscam, atualmente, nessa tecnologia, o biofertilizante necessário para produção dos alimentos

necessários ao seu excedente de população. A energia do biogás não conta muito frente à auto-suficiência em petróleo. Indianos, por seu turno, precisam dos biodigestores para cobrir o imenso déficit de energia. Com isso, foram desenvolvidos dois modelos diferentes de biodigestor: o modelo chinês, mais simples e econômico e o modelo indiano, mais sofisticado e técnico, para aproveitar melhor a produção de biogás.

2.2.1. Definição de Biodigestor

O biodigestor é um sistema utilizado para a produção de gás natural, rico em metano (CH_4), através de um processo anaeróbico onde a matéria orgânica é decomposta por bactérias metanogênicas. Podemos ainda definir o biodigestor como, sendo um equipamento que se compõe, basicamente, de uma câmara fechada na qual uma biomassa (dejetos de animais e aves diluídos, restos de alimentos, materiais amiláceos ou celulolíticos, triturados e diluídos) é fermentada anaerobicamente (sem a presença de ar). Como resultado desta fermentação, ocorre liberação de biogás e a produção de biofertilizante, Gaspar (2003). Como definiu Barrera (1993), "o biodigestor, como toda grande idéia, é genial por sua simplicidade". Como será abordado mais adiante, além do metano e do dióxido de carbono (CO_2), os biodigestores produzem também, em quantidades reduzidas: hidrogênio, ácido sulfídrico e traços de nitrogênio e monóxido de carbono. No Biogás Bruto, o metano responde, em média, por cerca de 55% a 60% do volume.. Esta variação deve-se ao fato de que o teor de metano varia em função do material original a ser biodigerido.

Existem vários tipos de biodigestores, mas, em geral, todos são compostos, basicamente, de duas partes: um recipiente (tanque) para abrigar e permitir a digestão da biomassa, e o gasômetro (campânula), para armazenar o biogás, para os dois tipos mais comuns (chinês e Indiano). Para o tipo batelada é constituído apenas de um tanque anaeróbico. Em relação ao abastecimento de biomassa, o biodigestor pode ser classificado como contínuo ou batelada. No primeiro caso, o abastecimento de biomassa flui continuamente, com descarga proporcional à entrada de biomassa. No caso de batelada, este utiliza sua capacidade máxima de armazenamento de biomassa, retendo-a até a completa biodigestão, quando, então, é descarregado. Os restos da digestão são retirados e faz-se nova recarga. O modelo a batelada é mais indicado quando da utilização de materiais orgânicos de decomposição lenta e com longo período de produção, como no caso de biomassa amilácea (restos de alimentos, tubérculos, frutas, legumes, etc) ou celulolítica (palha ou forragem) misturada a dejetos animais.

2.2.2. Biodigestor Modelo Chinês

O modelo chinês é mais rústico e completamente construído em alvenaria, ficando quase que totalmente enterrado no solo, conforme mostrado na figura 1. Este biodigestor funciona com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que aumentos de pressão em seu interior, resultante do acúmulo de biogás, resultarão em deslocamento do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e, em sentido contrário, quando ocorre descompressão.

Por ser totalmente construído por alvenaria, pode vir a ocorrer vazamento do biogás caso a estrutura não seja bem vedada e impermeabilizada. Neste tipo de biodigestor, muitas vezes, uma pequena parcela de do gás formado na caixa de saída é libertado para atmosfera, sendo perdas que reduzem parcialmente a pressão interna do gás, por este motivo as construções de biodigestor tipo chinês não são utilizados para instalações de grande porte (DEGANUTTI et al).

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

Outra crítica diz respeito à oscilação da pressão de consumo. Um projeto de adaptação do modelo chinês às características brasileiras foi empreendido pela Universidade Católica de Goiás (em parceria com a Emater–GO), que construiu, em 1984, um protótipo em seu campus. As oscilações foram resolvidas com a utilização de uma simples válvula, a qual mantinha a pressão no nível desejado (GASPAR, 2003).

Os críticos mais severos do biodigestor tipo chinês apontam como grande restrição a oscilação da pressão de consumo, ora elevada, ora baixa. Conforme as demais soluções encontradas, como impermeabilização e o processo construtivo, a obtenção de uma pressão

constante pode ser obtida com a compressão do gás em botijões e, na saída destes a instalação de uma válvula reguladora de pressão.

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

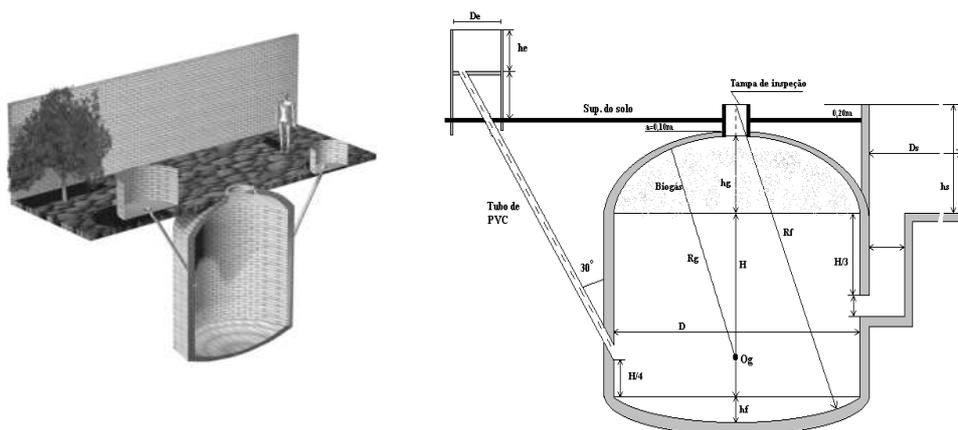


Figura 1. Biodigestor Modelo Chinês. Representação tridimensional em corte e vista frontal em corte, respectivamente.

As diversas partes e elementos representativos de um Biodigestor Chinês, referidas na figura 1, são definidas a seguir:

D - diâmetro do corpo cilíndrico;

H - altura do corpo cilíndrico;

Hg - altura da calota do gasômetro;

hf - altura da calota do fundo;

Of - centro da calota esférica do fundo;

Og - centro da calota esférica do gasômetro;

he - altura da caixa de entrada;

De - diâmetro da caixa de entrada;

hs - altura da caixa de saída;

Ds - diâmetro da caixa de saída;

A - afundamento do gasômetro;

2.2.3. Biodigestor Modelo Indiano

O modelo Indiano caracteriza-se por possuir uma campânula metálica como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo d'água externo, e uma parede central (septo de concreto) que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória faz com que o material seja forçado a circular por todo o interior da câmara de fermentação. A biomassa percola todo o tanque do biodigestor, com mínima estagnação. Esse biodigestor possui pressão de operação constante, ou seja, à medida que o volume de gás produzido e não é consumido de imediato, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume deste, portanto, mantendo a pressão no interior deste constante.

O fato de o gasômetro estar disposto ou sobre o substrato ou sobre o selo d'água reduz as perdas durante o processo de produção do gás. O resíduo a ser utilizado para alimentar o biodigestor indiano, deverá ser corretamente diluído e apresentar uma concentração de sólidos totais (ST) não superior a 8%, para facilitar a ação das bactérias metanogênicas, facilitarem a circulação da biomassa pelo interior da câmara de fermentação e evitar entupimentos nos condutos de entrada e saída do material. O abastecimento também deverá ser contínuo, ou seja, geralmente é alimentado por dejetos bovinos, suínos ou avícolas, que apresentam certa regularidade no fornecimento de dejetos. Do ponto de vista construtivo, apresenta-se de fácil construção, contudo o gasômetro de metal pode encarecer o custo final, e também à distância da propriedade pode dificultar e onerar o transporte inviabilizando a implantação deste modelo de biodigestor.

Para o Biodigestor Indiano, não há necessidade de se estabelecer medidas fixas para o diâmetro e a profundidade, bastando que se observe a relação de capacidade do tanque digestor e do gasômetro.

Em função da variabilidade do solo e da profundidade dos lençóis freáticos próximos, é possível alterar a profundidade do biodigestor em função do diâmetro. Assim, quanto menor a profundidade maior deverá ser o diâmetro, e vice-versa. Sganzerla (1983) lembra que o tanque de digestão pode, inclusive, ser construído acima do nível do terreno, contanto que a facilidade de abastecimento não fique dificultada. Reside aí uma das grandes vantagens do modelo indiano sobre o chinês, uma vez que este necessita observar medidas que se relacionam entre si (profundidade e diâmetro), o que pode inviabilizar sua instalação quando o solo for pedregoso e/ou encharcado. O biodigestor indiano, por sua vez, pode ser construído em clima frio/temperado ou mesmo tropical, bastando alterar a relação diâmetro-profundidade do mesmo.

A figura 2 exibe, em corte, uma representação tridimensional de um biodigestor do tipo indiano, onde se pode ver todo o interior do biodigestor. A vista frontal, em corte do biodigestor, realça os elementos fundamentais para sua construção, respectivamente.

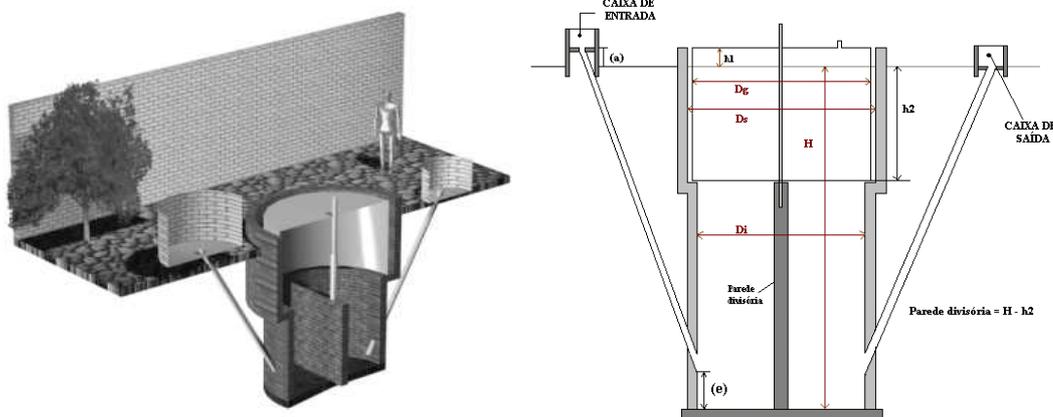


Figura 2. Biodigestor Modelo Indiano. Representação tridimensional em corte e vista frontal em corte, respectivamente.

Os elementos representativos dos Biodigestores Indianos, indicados e referidos na figura 2, são definidos a seguir:

H - altura do nível do substrato;

Di - diâmetro interno do biodigestor;

Dg - diâmetro do gasômetro;

Ds - diâmetro interno da parede superior;

h1 - altura ociosa (reservatório do biogás);

h2 - altura útil do gasômetro.

a - altura da caixa de entrada.

e - altura de entrada do cano com o afluente.

A variação da capacidade de produção do biodigestor indiano, em função da relação profundidade/diâmetro do mesmo, pode ser verificada na tabela 1

Tabela 1 – Relação da Profundidade com o Diâmetro

Capacidade do Tanque [m ³]	Dimensões do tanque do Biodigestor [m ² x m]	Dimensões da Campânula	
		Diâmetro Clima Frio [m ² x m]	Diâmetro Clima Tropical [m ² x m]
BIO DIGESTOR COM POUCA PROFUNDIDADE			
8	2,00 x 2,60	1,8 x 1,10	1,80 x 2,30
10	2,20 x 2,70	2,00 x 1,10	2,00 x 2,50
12	2,35 x 2,80	2,15 x 1,10	2,15 x 2,50
15	2,53 x 3,00	2,33 x 1,20	2,33 x 2,50
18	2,7 x 3,15	2,50 x 1,20	2,50 x 2,60
Relação Biomassa/Biogás		2,4: 1 [m ³]	
1:1 [m ³]			
BIO DIGESTOR COM MAIOR PROFUNDIDADE			
8	1,70 x 3,60	1,50 x 1,50	1,50 x 3,30
10	1,85 x 3,80	1,65 x 1,50	1,65 x 3,40
12	1,97 x 4,00	1,77 x 1,55	1,77 x 3,55
15	2,10 x 4,40	1,90 x 1,60	1,90 x 3,80
18	2,20 x 4,80	2,00 x 1,75	2,00 x 4,10
Relação Biomassa/Biogás		2,4: 1 [m ³]	
1:1 [m ³]			

Fonte: SGANZERLA, 1983, Adaptação, Rita Maria *et al*

Como pode ser visto na tabela 1, a adaptação das dimensões dos biodigestores indianos a regiões de clima quente ou frio não é um grande entrave, uma vez que basta apenas ajustar-lhes o diâmetro e a profundidade. Assim é que, em uma região de clima frio ou temperado, a produção do biodigestor obedece à relação 2,4 m³ de matéria orgânica (biomassa) por m³ de biogás, ao passo que, em clima tropical, a relação passa a ser de 1 m³ de biomassa para 1m³ de biogás. A diferença nas relações biomassa/biogás demonstra que esses biodigestores instalados em clima temperado ou frio necessitam utilizar maior quantidade de matéria orgânica (quase duas vezes e meia a quantidade em clima tropical) para produzir a mesma quantidade de biogás que um instalado em clima tropical.

A desvantagem mencionada acima pode ser totalmente superada, ainda segundo Sganzerla (1983), quando se instala um sistema de aquecimento da água a ser misturada à biomassa. Tal aquecimento pode ser provido pela própria energia do biogás, ou, utilizando-se

a energia solar. Com esse aquecimento da água, a necessidade de biomassa alcança (ou pelo menos se aproxima bastante) da relação de 1:1 metros cúbicos.

Não se deve esquecer que a gasômetro que cobrirá a parte superior do biodigestor (modelo indiano) deverá acompanhar as alterações da relação diâmetro/profundidade para garantir uma perfeita vedação do mesmo.

2.2.4. Biodigestor Modelo Batelada

Trata-se de um sistema simples e de pequena exigência operacional. Sua instalação poderá ser apenas um tanque anaeróbico, ou vários tanques em série. Esse tipo de biodigestor é abastecido de uma única vez, mantendo-se em fermentação por um período conveniente, sendo o material descarregado posteriormente após o término do período efetivo de produção de biogás.

Este modelo adapta-se melhor, quando a disponibilidade de biomassa é maior ou ocorre em períodos mais longos, como ocorre em granjas avícolas de corte, cuja biomassa fica a disposição após a venda das aves e limpeza do galpão. A figuras 3 mostra a representação tridimensional e a vista do corte frontal do biodigestor tipo batelada, respectivamente. São realçados os elementos fundamentais para a sua construção.

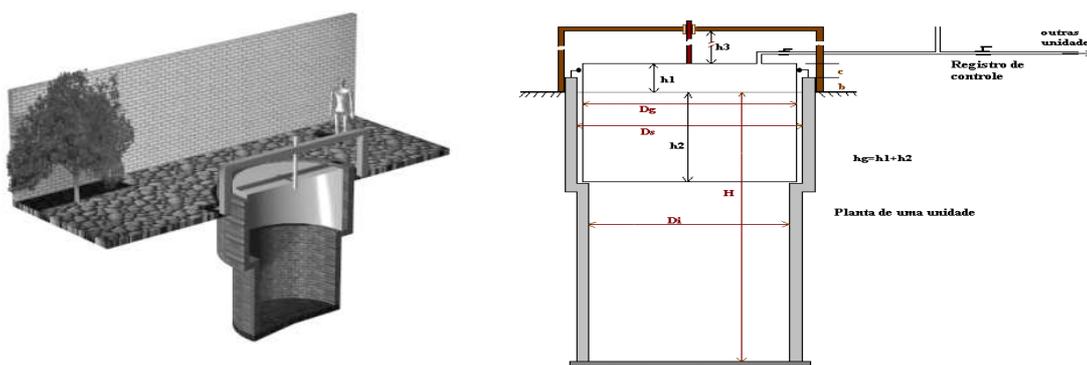


Figura 3. Biodigestor Modelo Batelada. Representação tridimensional em corte e vista frontal em corte, respectivamente.

Os elementos representativos do biodigestor batelada, exibidos na figura 3, são definidos a seguir:

Di - diâmetro interno do biodigestor;

Ds - diâmetro interno da parede superior;

Dg - diâmetro do gasômetro

H - altura do nível do substrato;

h1 - altura ociosa do gasômetro;

h2 - altura útil do gasômetro;

h3 - altura útil para deslocamento do gasômetro;

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

c - altura do gasômetro acima da parede do biodigestor.

2.2.5. Outros Tipos de Biodigestores

A marinha Brasileira desenvolveu um modelo de biodigestor, que tem a cúpula de lona preta, impermeabilizada. Esse modelo, por ser mais raso e longo, oferece maior produtividade de gás por massa fermentada. Mas como apresenta vantagens e desvantagens em relação aos outros modelos já citados, sua utilização deve ser decidida de acordo com as particularidades da propriedade rural. Por isso, ele não tem sido adotado em ampla escala pelos órgãos de extensão rural no Brasil.

Outro biodigestor contínuo, também em uso é o de fluxo tubular, trata-se de um biodigestor de construção simplificada, do tipo horizontal com câmara de biodigestão escavado no solo e com gasômetro do tipo inflável feito de material plástico. Este modelo de

Tabela 2. Características de Construção dos Modelos Chinês, Indiano e Batelada.

Característica	CHINÊS (Contínuo)	INDIANO (Contínuo)	BATELADA (Indiano/Chinês)
Materiais	Tijolo, pedra, concreto, areia, cimento, ferro.	Tijolo, pedra, concreto, areia, cimento, ferro.	Idem aos Anteriores
Sistema de Abastecimento	Contínuo	Contínuo	Batelada
Sistema de Esvaziamento	Contínuo	Contínuo	Batelada
Construção	Pedreiro Qualificado	Pedreiro qualificado Gasômetro metálico	Pedreiro qualificado e/ou gasômetro
Isolamento Térmico	Possui bom isolamento natural Temperatura quase constante.	Perdas de calor no gasômetro menos indicado climas frios.	Idem cada caso anterior
Perdas de Gás	Necessário parte superior impermeável Difícil tanque estanque.	Não há	Idem cada caso anterior
Matérias-Prima Usadas	Dejetos e outros restos orgânicos (inclusive humanos) materiais fibroso	Idem modelo Chinês	Idem modelos anteriores
Produtividade	Digestão em 40-60 dias; Produção: 150 a 350 l / m ³ /dia Se estanque, pode produzir até 600 l/m ³ /dia	Digestão em 40-60 dias, produção 400 a 600 l/m ³ /dia.	Similar modelos anteriores
Manutenção	Deve ser limpo uma ou duas vezes por ano.	A câmara de gás deve ser pintada uma vez por ano.	Idem modelos anteriores

Custos	Razoável	Depende do custo do Gasômetro	Idem modelos anteriores
Melhorias possíveis	Abóbada impermeável; Agitadores; montagem de aquecimento.	Gasômetro inoxidável; isolamento térmico do mesmo	Idem modelos anteriores
Produção de Biofertilizante	Menor	Maior	Idem modelos anteriores
Produção Biogás	Menor Produção	Maior Produção	Idem anteriores

Fonte: BARRERA, Paulo, 1993. e Deganutti et al, 2009

biodigestor, embora apresente a vantagem de ser de fácil construção, por outro lado, possui menor durabilidade e é mais susceptível à ocorrência de escapamento do gás, caso a lona de plástico seja perfurada.

2.2.6. Comparação entre os Diferentes Tipos de Biodigestores

Na Tabela 2, é mostrada uma comparação entre as características gerais dos modelos chinês, indiano e batelada de biodigestores, como forma de esclarecer melhor as vantagens e desvantagens de cada um deles.

2.2.7. Materiais, Dimensões e Volume de Carga do Biodigestor

Para decidir as características do biodigestor proposto para esse trabalho, alguns fatores tiveram de ser tomados em consideração, como forma de garantir que o biodigestor escolhido cumpra seus objetivos a contento quando instalado. Foram levados em consideração, por exemplo, para além dos aspectos técnicos, a amplitude térmica média da região-alvo, que oscila entre 20 e 25°C. Isto se deve ao fato de em regiões onde a temperatura média fica abaixo dos 20°C ser necessário aquecer a água a ser misturado aos dejetos, a fim de manter a capacidade de operação das bactérias anaeróbicas presentes no interior da câmara de digestão, o que não será o nosso caso. Convém, contudo, verificar quais os valores máximos e mínimos da temperatura no local de construção do biodigestor (um local próximo a florestas ou outros adensamentos vegetais apresenta, em geral, temperaturas mais baixas), embora não seja necessária uma grande precisão nestes valores. A região de instalação dos Biodigestores possui característica ideal para o funcionamento dos Biodigestores modelo indiano.

O fato de o biodigestor modelo indiano possuir a maior parte de sua estrutura sob o solo, já auxilia a manter uma temperatura adequada na câmara de fermentação (faixa termofílica). Contudo, ha casos que podem exigir o aquecimento da água de homogeneização dos detritos. Esse procedimento pode ser feito empregando-se um tambor (plástico ou metal) pintado de preto, o que o fará absorver melhor o calor do sol e aquecer a água. Além disso, pode ser utilizada a própria energia do biogás para o aquecimento requerido. Esta opção, entretanto, é pouco recomendada, pois acaba consumindo aproximadamente um terço da energia produzida pelo aparelho, o que prejudicaria o objetivo principal do projeto que é a produção de energia elétrica (NOGUEIRA, 1986).

O efeito da temperatura sobre a biodigestão anaeróbica é significativo, porque se conseguem produtividades maiores quando se opera em faixas adequadas de temperatura, o que justifica a preocupação em aquecer os biodigestores. Isto é particularmente importante para os locais com períodos longos de baixas temperaturas, nas regiões serranas e zonas temperadas do Bengo em particular e Angola em geral. Mesmo para locais quentes, operar o biodigestor na faixa termofílica é salutar, pois, a produtividade é bem maior (NOGUEIRA, 1986).

As principais formas de se aquecer um biodigestor são:

- 1) Circular água aquecida em serpentinas dentro do biodigestor;
- 2) Aquecer as paredes do biodigestor;
- 3) Re-circular a biomassa através de um trocador de calor externo (processo oneroso e só indicado para locais muito frios).

Estes métodos foram colocados na ordem de frequência de seu uso, sendo os dois últimos pouco adotados. Os biodigestores a ser aquecidos deverão ser projetados para a menor área superficial possível. O solo é um bom isolante e estabilizador térmico, razão pela qual os biodigestores devem ser enterrados.

Quando se emprega o próprio biogás para aquecimento do biodigestor, usualmente se consome um terço da energia total produzida. Todas estas considerações devem ser feitas para um projeto otimizado, já que impõem alguma complexidade na construção e operação. (NOGUEIRA, 1986).

Devido à busca da simplicidade de operação, os biodigestores projetados para uso rural devem evitar se possíveis, o aquecimento externo. Um biodigestor Indiano instalado no Bengo (região de clima tropical seco) deverá, portanto, ter a maior parte de sua estrutura contida abaixo do solo, sem necessidade de recorrer ao aquecimento da água de homogeneização, como acontece em regiões de clima úmido.

Outro detalhe importante é a necessidade de se efetuar uma análise acurada do tipo de biomassa a ser empregado na biodigestão. A razão para isso é que os dejetos de animais não devem conter restos de antibióticos (convém isolar o animal ou animais sob tratamento para evitar a coleta de seus dejetos) e os restos de culturas vegetais devem ser livres de agrotóxicos ou outros aditivos químicos, uma vez que tais substâncias são bactericidas, podendo mesmo parar completamente a produção de biogás. Esta análise, naturalmente, deverá ser feita pelo proprietário rural, decidindo, se for o caso, pelo afastamento dos animais sob tratamento de antibióticos, até que não haja perigo para a cultura bacteriana.

Em relação aos materiais empregados na construção do biodigestor, foi feita uma pesquisa de valores praticados em três estabelecimentos de venda de materiais de construção e em duas oficinas metalúrgicas, para efeito de comparação e mostrar que é possível a implementação destes aparelhos a custos baixos. Estes se resumem no cimento, tijolos, areia, pedra brita, barras de ferro, tubos de PVC e tubos galvanizados. Para calcular os custos com tais materiais foi realizada pesquisa junto a três empresas de materiais de construção de renome na capital do país Luanda, por ser onde se pode encontra a totalidade do material. Na tabela 3, encontram-se os custos unitários de cada material segundo orçamento dos estabelecimentos de venda.

Tabela 3. Custos de Materiais nos Estabelecimentos Comerciais

Material (Unidade)	Cimex	J.L.C. P Investimentos, LDA	Materiais de Construção LDA	Oficina Metalúrgica 1	Oficina Metalúrgica 2	Média
Saco de cimento 50 kg	\$12	\$11	\$13	-	-	\$12
Tijolo (unidade)	\$0.2	\$0.3	\$0.4	-	-	\$0.3
Areia Média (10m ³)	\$120	\$110	\$100	-	-	\$110
Pedra Brita (m ³)	\$25	\$30	\$28	-	-	\$28
Impermeabilizante (Vedacit) (m)	\$10	\$9	\$8	-	-	\$9
Barras de Ferro ¼ (12m)	\$5	\$6	\$7	\$5	\$6	\$6
Tubos de PVC (150 mm) (Barras 6m)	\$10	\$9	\$9	-	-	\$9
Tubo de ferro galvanizado 1” (Barras de 12m)	\$20	\$22	\$21	\$24	\$23	\$22
Campânula	-	-	-	\$220	\$200	\$210

Obs: Valores em USD de acordo o câmbio apresentado no mês de Dezembro de 2009

Os valores da tabela 3 indicam a total facilidade de se construir biodigestores a custos não muito elevados, se levado em conta o que é gasto para os sistemas alternativos de geração de energia, ou mesmo pelo que é pago à concessionária local de energia elétrica, quando existir.

2.3. Produção, Características e Utilização do Biogás.

A formação do biogás é comum na natureza. Assim, ele pode ser encontrado em pântanos, lamas escuras, locais onde a celulose sofre naturalmente a decomposição.

O biogás é um produto resultante da fermentação, na ausência do ar (ausência de oxigênio), de dejetos animais, resíduos vegetais e de lixo orgânico industrial ou residencial, em condições adequadas de temperatura e umidade. A reação desta natureza é denominada digestão anaeróbica (GASPAR, 2003).

O principal componente do biogás é o metano, representando cerca de 55 a 75% na composição do total de mistura de biogás bruto. O metano é um gás incolor, altamente combustível, queimado com chama azul lilás, sem deixar fuligem e com um mínimo de poluição (ORTOLANI et al., 1991)

Em função da porcentagem com que o metano participa na composição do biogás, o poder calorífico deste pode variar de 5.000 a 7.000 kcal por metro cúbico. Esse poder calorífico pode chegar a 12.000 kcal por metro cúbico uma vez eliminado todo o gás carbônico da mistura (CASAGRANDE, 2003)

Em termos práticos, a tabela 4 exhibe uma relação comparativa de equivalência de 1 metro cúbico de biogás com os combustíveis usuais:

Tabela 4. Relação Biogás com Combustíveis Usuais

Biogás [m ³]	Gasolina [l]	Querosene [l]	Diesel [l]	Gás Liquefeito [Kg]	Álcool [l]	Lenha [Kg]	Energia Elétrica [kWh]
1	0,61	0,57	0,55	0,45	0,79	1,538	1,428

Fonte: BARREIRA (1993)

2.3.1. Principais Benefícios do Biogás para a Propriedade com Suinocultura

Uma das opções para a produção de energia, a baixo custo, que vem apresentando resultados favoráveis e já difundido em vários países é o biogás. Apesar de ser conhecido a muito tempo, só mais recentemente os processos de obtenção de biogás vêm se desenvolvendo sem objetivos práticos em maior amplitude, objetivando sua utilização como energético. Dessa forma a partir de 1976 os estudos relativos ao seu aproveitamento foram intensificados, Gaspar (2003). A idéia da produção de biogás nas propriedades rurais, indiferentemente de suas dimensões, em última análise, se associa para alcançar o seguinte quádruplo de objetivo, ou seja:

Proporcionar maior conforto aos moradores do campo, permitindo-lhes dispor de um combustível prático e barato que tanto poderá ser usado para fins de calefação, iluminação e cozimento de alimentos, como ainda para acionar grupos geradores de energia elétrica, para acionamento de máquinas agrícolas (picadores de cana, moinhos de grãos, bombas, etc).

Contribuir para a economia do consumo de petróleo, pois o biogás é um combustível proveniente de fontes alternativas renováveis.

Produzir biofertilizante que é um resíduo rico em húmus e nutrientes, utilizado na fertilização do solo, para aumentar a produtividade dos cultivos face ao seu baixo custo de obtenção.

Contribuir para a preservação do meio ambiente pela produção de biogás, o que consiste na reciclagem de dejetos e resíduos orgânicos poluentes.

A utilização do biogás reduz, ou mesmo elimina a necessidade de se retirar lenha das matas próximas às residências rurais (reduzindo ou acabando com o desmatamento). Com isso, não ocorrem velhos problemas muito comuns nas regiões rurais, como a erosão do solo, a proliferação de pragas da lavoura em virtude da extinção de predadores naturais que vivem nas matas, descontrole do nível de chuvas devido à maior evaporação de água proveniente da retirada das matas que atuam como "cobertor térmico" para o solo, destruição da fauna e flora dessas matas, entre outros. Além dessa preservação, o uso de biodigestores acaba estimulando a agricultura, ao realizar a devolução de produtos vegetais ao solo e aumentar o volume e a qualidade de adubo orgânico (através do biofertilizante).

Uma das grandes vantagens do biogás em relação ao gás engarrafado que usa GLP é por ser mais higiênico. Produz menos fumaça e não deixa resíduos de fuligem nas panelas e

demais utensílios de cozinha: o efeito "panela preta". Não há necessidade de estocar carvão e lenha para uso na cozinha.

Até este momento, a pesquisa mencionou apenas o manejo dos dejetos dos animais (porcos, bois, cavalos) e de aves. Entretanto, os próprios excrementos humanos podem ser transformados em biogás e biofertilizante, resolvendo com isso, o problema sanitário representado pelas "casas de banho", como são conhecidas no Bengo as latrinas. Tais privadas costumam ser construídas de forma extremamente precária, ocasionando o transbordamento das fezes humanas em temporadas de muita chuva e atraindo grande quantidade de insetos, especialmente moscas.

Se a instalação de um biodigestor for seguida pela elaboração de um meio de permitir que os dejetos humanos sejam misturados aos dos animais, para serem acondicionados na câmara de digestão, estará sendo solucionado um grande problema sanitário muito comum nesta região do país. A proliferação de ovos de esquistossomos e ancilóstomos causa doenças que já se tornaram endêmicas em Angola. A utilização de dejetos humanos e animais num biodigestor solucionariam o problema de proliferação de bactérias patogênicas (Coliformes em geral, *Salmonella typhi* e *S. enteritidis*), entre outros patógenos, ovos de parasitas tais como esquistossomos e ancilóstomos, solitárias e verminoses em geral, notadamente de helmintos. O número de ovos de parasitas encontrados no efluente diminuiu em 99%, após a fermentação (USP, 2001; REIS, 1991).

As donas de casa ficam livres de pesadas tarefas domésticas, de mobilizar carvão e lenha para a cozinha. O desenvolvimento de um programa de biogás também representa um recurso eficiente para tratar os excrementos e melhorar a higiene e o padrão sanitário do meio rural. Com o binômio biogás-biofertilizante "mais de cem milhões de chineses, com seus biodigestores, conseguem energia suficiente para suas necessidades domésticas e adubo para fertilizar suas plantações", além de manter o meio ambiente "livre de verminoses", esquistossomoses, hepatite e as doenças entéricas" (REIS, 1991).

Uma geladeira pode funcionar com energia elétrica (compressão) ou a gás, com um sistema que usa absorção. Há muitas aplicações na zona rural: Iluminação com lampiões, chocadeira; secadores de grãos ou geradores de energia elétrica para acionar ventiladores destinados a refrescar o ambiente interno de granjas, roçadeiras, separadores de grãos de algodão, acionar bombas, acionarem um pequeno moinho de grãos (fubá de milho) picadores de capim e cana, etc. (USP, 2001; REIS, 1991)

Além disso, em regiões onde a temperatura média se encontra estável (geralmente acima de 20°C como é o caso em estudo), não há necessidade de aquecer a água a ser

adicionada aos dejetos. Em locais onde a temperatura cai bruscamente, durante certos meses do ano, o aquecimento pode ser feito com a energia produzida pelo próprio biogás.

Em síntese, os benefícios do biogás podem ser visualizados melhor através da observação dos dados da Tabela 5, calculados para uma residência com 5 pessoas. O consumo total de biogás em uma propriedade rural determina a quantidade de biomassa e de animais necessários para se obter a produção necessária desse gás. Estes cálculos devem ser levados em conta na hora de se planejar as dimensões do biodigestor.

As possibilidades de uso do biogás são muito grandes e esta pesquisa não tem a pretensão de analisar cada uma delas, entretanto, tudo quanto foi abordado até o momento é suficiente para fornecer uma boa idéia das vantagens que o seu uso proporciona.

Tabela 5. Relação de Consumo de Biogás em Equipamentos

EQUIPAMENTOS	UNIDADE	CONSUMO
Lampião (cada)	M ³ /h	0,14
Cozimento (5 pessoas x 0,23 m ³)	M ³ /h	1,15
Fogão	m ³ /dia/pessoa	0,34
Motor	m ³ /hp/h	0,45
Chuveiro	m ³ /banho de 15 minutos	0,80
Campânula para aquecimento	m ³ /h para 1500 kcal	0,162
Geladeira	M ³ /dia	2,0
Incubadora de ovos e recém-nascidos prematuros	m ³ /h/100l de capacidade	0,05
Geração de Eletricidade	m ³ /kW/h	0,62
Total de consumo por dia	M³	5.712

Fonte: CETEC,1982

2.4. A Biomassa Suína como Combustível do Biodigestor

Como biomassa designa-se, em geral, a massa total de matéria orgânica que se acumula em um espaço vital. Desta maneira, pertencem à biomassa todas as plantas e todos os animais incluindo os seus resíduos, bem como, em um sentido mais amplo, as matérias orgânicas transformadas, tais como, resíduo de indústria transformadora da madeira, restos de alimentos, indústria alimentar e restos culturais. Estes elementos primários de biomassa podem ser transformados pelas diferentes tecnologias de conversão em bicomcombustíveis sólidos, líquidos ou gasosos e, finalmente, nos produtos finais energias térmica, mecânica e elétrica (STAISS e PEREIRA, 2001).

A matéria orgânica a ser decomposta existe em quantidades abundantes, em todos os lugares do planeta. Seja nas cidades, seja nos campos ou nas regiões litorâneas, existindo grande concentração de seres vivos (tanto vegetais como animais) haverá uma quantidade significativa de biomassa.

A biomassa decomposta sob a ação de bactérias metanogênicas (produtoras de metano) produz biogás em maior ou menor quantidade, em virtude de diversos fatores: temperatura, nível de pH, relação Carbono/Nitrogênio, presença ou não de oxigênio, nível de umidade, quantidade de bactérias x volume de biomassa, entre outros.

Uma vez que o objeto de estudo desta dissertação é a produção de biogás para a produção de energia elétrica e a utilização dos restos como biofertilizante, a partir dos dejetos de suínos, estes serão considerados a matéria-prima a ser utilizada pelos biodigestores mencionados ao longo da pesquisa. Evidentemente, dejetos de outros animais (bovinos, caprinos, muares, bubalinos) e aves, bem como humanos, podem também ser utilizados, sendo que alguns podem apresentar um rendimento maior, em determinados aspectos, ao de origem suína. Cada caso, porém, deve ser analisado com muito cuidado, pois, apenas como exemplo, os dejetos oriundos de aves podem conter certos níveis de resíduos de antibióticos. Tais resíduos, quando acondicionados no interior dos biodigestores podem diminuir a produção do biogás ou mesmo reduzir ou destruir completamente a população de bactérias metanogênicas, devido à sua ação bactericida.

Para Seixas et al. (1980), o passo seguinte a ser tomado após a escolha do modelo de biodigestor deve ser a análise da quantidade de biomassa que estará disponível para utilização. Só assim será possível calcular, com precisão, a capacidade real de produção de biogás após ser instalado o biodigestor. O nível de consumo diário de biogás para a atividade

a que o mesmo está destinado constitui-se em outra variável muito importante a se levar em conta, quando da definição acerca das dimensões do equipamento.

De acordo com Oliveira (1993) a maior utilização de água aumenta a dispersão dos dejetos, agravando ainda mais os problemas ambientais. A poluição na região produtora de suínos é alta, possuindo DBO que oscila entre 30.000 a 52.000mg/litro em torno de 260 vezes superior a do esgoto doméstico que é de 200mg/litro.

A produção diária, em quilogramas, de dejetos de Bovinos, Suínos, Aves (galináceos), Ovinos e Eqüinos, por animal adulto, segundo (SGANZERLA, 1983), é mostrada na tabela 6.

Tabela 6. Produção Diária de Dejetos por Animal Adulto

Tipo de Animal	Média de Produção de Dejetos (kg/dia)
Bovino	12
Suíno	2,49
Galináceos	0,19
Ovino	2,80
Eqüino	10,00

Fonte: Sganzerla, 1983

Sganzerla (1983) esclarece que os dejetos de bovinos apresentam a característica de propiciar a rápida proliferação das bactérias metanogênicas, apresentando produção de biogás em menor espaço de tempo que os dejetos de outros animais. Esse autor recomenda que, sempre que possível, a primeira carga de biomassa nos biodigestores, seja de esterco bovino, pois este fornecerá, rapidamente, a quantidade necessária de bactérias metanogênica que irão digerir os dejetos de outros animais a serem adicionados na seqüência. Quando se utiliza dejetos de outros animais é recomendável se introduzir um inóculo de dejetos bovinos para acelerar a ação das bactérias metanogênicas (BARRERA, 2003).

Como pode ser visto na Tabela 7, os dejetos de suínos apresentam uma grande capacidade de produção de biogás, superior aos de aves, e muito próximo dos de ovinos, perdendo apenas para bovinos e eqüinos, que são, de longe, os que apresentam maior capacidade de produção de biogás. Uma das dificuldades principais na utilização do estrume de suínos puro é que seu processo de fermentação é mais lento que os dos demais. O inóculo de dejetos bovino melhora muito esse comportamento.

Tabela 7. Expectativa de Produção de Biogás por Biomassa

Biomassa Utilizada (Dejetos)	Produção de biogás (a partir de material seco em m³/t)	Percentual médio de Gás Metano Produzido
Bovinos	270	55%
Suínos	560	50%
Eqüinos	260	Variável
Ovinos	250	50%
Aves	285	Variável

Fonte: SGANZERLA, 1983

Os dados da Tabela 7 mostram que cada biomassa produz quantidades diferentes de biogás, bem como diferentes concentrações de metano. Nota-se, também, que os dejetos suínos são a biomassa com melhor rendimento biogás/tonelada, cerca de 560 m³ de biogás, e apresentando um ótimo nível de gás metano (50%). Apenas como comparação, convém notar que os dejetos de bovinos produzem apenas 270 m³ de biogás/tonelada, sendo o índice de presença de metano neste biogás de 55%, ou seja, apenas 5% a mais que o índice alcançado pelo estrume de suínos. Esta excelente produção de biogás a partir de dejetos suínos é o fator que melhor compensa a demora destes dejetos em começar a produção de biogás, além da presença de grande quantidade inicial de gás carbônico em relação ao nível de metano.

Oliveira (1994) adverte que nas primeiras semanas a quantidade de gás carbônico é bem superior à do metano embora, aos poucos, tal desproporção acabe desaparecendo. Convém manter em mente, o fato de que a produção de biogás, a partir de dejetos suínos, varia não só em função da relação Carbono/Nitrogênio encontrada nos dejetos de cada animal, mas também das condições que cada um oferece para a proliferação bacteriológica. Por essa razão, muitos biodigestores, ditos de alimentação por batelada são projetados a fim de reter a biomassa em seu tanque digestor por um período aproximado de 60 dias, que é quanto demora a produção de biogás por tais biomassas.

2.4.1. Poluição por Dejetos Suínos e a Legislação Ambiental

Mesmo quando a suinocultura é desenvolvida de forma integrada com outra atividade rural, destinada a receber os dejetos dos suínos, como a piscicultura e a hidropônica, ela ainda

consiste em uma atividade potencialmente poluidora de mananciais de água vizinhos à propriedade. A criação de suínos também acarreta a produção de mau cheiro, responsável por atrair grande número de insetos, muitos dos quais danosos à saúde e o bem-estar da população rural (moscas em geral) e mesmo dos animais (mosca do chifre). A desinformação fez com que pocilgas fossem construídas próximas aos cursos d'águas, destino certo de todos os efluentes produzidos pela criação de aves e animais. Essa mesma desinformação, passada, no mais das vezes, como "herança" ao longo das gerações torna difícil convencer o agricultor ou o pecuarista, que o tratamento e destino final dos efluentes produzidos dentro de sua propriedade são de sua exclusiva responsabilidade.

Com a mudança do posicionamento global em relação ao meio ambiente, que todos devem assumir, e a conscientização sobre a necessidade de preservação do mesmo, medidas mais drásticas devem ser tomadas para regularizar a produção e tratamento dos resíduos das diversas formas de criação de animais e aves existente na região.

No caso específico da suinocultura, o problema é muito mais grave devido ao grande potencial poluidor dessa atividade. Ambientalistas advertem, há muitos anos, sobre o perigo do desabastecimento de água potável nas próximas décadas. Tal escassez não será resultado de um volume extraordinariamente pequeno de água doce no planeta, mas sim devido ao uso errado e indiscriminado da água e ao processo cada vez mais intenso de poluição desta, como resultado das ações poluidoras da espécie humana na qual Angola certamente não estar fora.

Ainda não há um número considerado de pocilgas construídas diretamente sobre açudes de criação de peixes ou com canaletas conduzindo os dejetos diretamente a estes, mais com o desenvolvimento desta região e por ela se aproximar da cidade capital, poderá fazer com que, em breve haja este tipo de proliferação.

Alguns produtores argumentam que o risco de poluição fica afastado porque os peixes consomem toda a matéria orgânica lançada nos criadouros. Esquecem, contudo, que os parasitas nas fezes dos suínos contaminam os peixes, os quais podem contaminar os humanos ao serem consumidos por estes, seguindo a cadeia alimentar.

Além disso, nem todos os dejetos são consumidos pelos peixes, acabando por depositar-se no fundo dos açudes, podendo contaminar os cursos d'água quando a água represada é despejada para fora do açude, carreando consigo parte do lodo e dos demais resíduos presentes no fundo dos açudes.

Este tipo de conduta, bem como a dos produtores localizados muito próximos do perímetro urbano das cidades, produzindo maus odores e atraindo insetos que infernizam a

população urbana, é passível de incursão nas penas da lei, estas devem ser rapidamente criadas, para que tudo comece de forma organizada e sem conseqüências maiores no futuro.

2.4.2. Dejetos de Suínos e a Poluição do Solo

É prática comum, nas áreas suinocultores, utilizar-se os dejetos dos animais como adubo orgânico. Sabe-se, também, que dejetos suínos possuem grande capacidade de fertilização se usados de forma correta. Infelizmente, o uso puro e simples deste tipo de fertilizante natural não garante a qualidade da adubação nem livra o meio-ambiente da degradação.

Os principais problemas acarretados ao meio-ambiente pelos dejetos de origem suína são dois: a poluição do solo e a contaminação dos mananciais d'água das regiões suinocultores. Isto se deve à composição físico-química de tais dejetos, ricos em determinados elementos químicos, como o fósforo (P), cuja concentração excessiva prejudica não só água e solo como o organismo dos seres vivos expostos a estes. A composição dos dejetos e seus efeitos danosos ao meio-ambiente serão estudados nos itens a seguir.

Para entender melhor o risco que os dejetos suínos representam para o solo convém examinar, detalhadamente, a composição de tal material orgânico. Entre os principais componentes poluentes dos dejetos suínos temos o nitrogênio (N), o fósforo (P) e alguns micro minerais, como o zinco (Zn) e o cobre (Cu). A ação deteriorante do nitrogênio no solo deve-se à sua transformação em nitrato. De acordo com Lee e Coulter (1990), citados por Penz Junior, Meinerz e Magro (2001), em vários rios europeus o nitrogênio dos dejetos animais acabou contribuindo entre 40 e 60% da porcentagem total encontrada deste elemento químico, ao mesmo tempo em que se verifica uma correlação positiva entre a concentração de nitrato e nitrito nos rios e o nível de aplicação de nitrogênio no solo (fertilizantes e dejetos). Isto explica porque o índice de nitrogênio adicionado ao solo pelo uso de dejetos suínos como adubo, na Holanda, no início do século, alcançou o valor total de 90.000 toneladas/ano, tendo tal valor subido, posteriormente, para 450.000 toneladas/ano.

Oliveira (1994) comenta o fato de o nitrato movimentar-se com facilidade pelo solo e apresentar alto índice de solubilidade na água. Graças a essa rápida permeação, o nitrogênio é capaz, também, de poluir o ambiente na forma de amônia, que reagindo com ácido nítrico provoca fenômeno conhecido como "chuva seca" (chuva de nitrato de amônio). O nitrato de amônio é um sal ácido (pH: 5-6), que provoca chuva ácida.

O excesso de fósforo, assim como de nitrogênio e outros nutrientes favorece o desenvolvimento desordenado de algas. A decomposição destas algas consome o oxigênio dissolvido na água. Esta decomposição compromete o crescimento de espécies aquáticas, como peixes e crustáceos. O fósforo em excesso acumula-se no solo e só é dissolvido na água dos rios quando a capacidade de retenção deste pelo solo fica prejudicada. No caso dos micros minerais é sabido que níveis relativamente baixos de cobre podem causar a morte de peixes, algas e fungos. Oliveira (1994) cita o fato de níveis de cobre de 0,025 a 0,2 mg/L serem tolerados pelo organismo dos peixes. O zinco, por seu lado, pode comprometer o desenvolvimento destes e das algas.

Segundo Jelinek (1977); Oliveira (1994), a quantidade diária de dejetos produzida pelos suínos varia entre 4,9 e 8,5% de seu peso corporal. A maior parte deste volume vem da urina, cujo volume depende da quantidade de água ingerida pelo animal. O mesmo autor sugeriu que para cada litro de água consumido pelo suíno ocorre uma produção de 0,6 litros de dejetos líquidos. E mostrou também que as diferentes fases de produção dos suínos interferem nas quantidades absolutas de dejetos produzidos. Assim é que as porcas em lactação são as que produzem mais esterco como mostrado na Tabela 8.

Tabela 8. Produção Diária de Dejetos nas Diferentes Fases

Fases de Produção	Esterco	Composição de Esterco e Urina (Kg/dia)	Dejetos Líquidos (L/dia)	Produção de Dejetos Líquidos (m³/animal/mês)
25-100 Kg	2,3	4,9	7,0	0,25
Porca	3,6	11,0	16,0	0,48
Porca lactante	6,4	18,0	27,0	0,81
Macho	3,0	6,0	9,0	0,28
Leitão em creche	0,35	0,95	1,40	0,05
Média	2,35	5,8	8,6	0,27

Fonte: Adaptação de OLIVERA, (1994)

Ao estudar a composição química de diferentes dejetos de suínos, Oliveira (1994) mostrou que a quantidade de nutrientes excretados pelos animais é bastante elevada (Tabela 9), necessitando que sejam estudados os procedimentos que possam reduzir estas perdas.

Tabela 9. Composição Química de Dejetos de Suínos

Sistema de Manejo	Matéria Seca (%)	N total (Kg/t)	P_2O_5 (Kg/t)	K_2O
Esterco sem cama	18	4,54	4,08	3,63
Esterco com cama	18	3,63	3,17	3,63
Liquame de da fossa de retenção	4	4,08	3,06	2,15
Liquame de tanque de oxidação	2,5	2,72	3,06	2,15
Líquido da lagoa	1	0,45	0,23	0,45

Fonte: Adaptação de OLIVERA, (1994)

Latimier (1993), citado por Oliveira (1994), concluiu que o volume total de dejetos produzido por suínos em crescimento, depende do ganho de peso e da eficiência de transformação dos nutrientes por estes animais. Os estudos de Latimier mostraram, que suínos com peso oscilando entre 28 e 102 kg e apresentando um ganho de peso diário de cerca de 740 g, produziram um total de dejetos de 370 litros, ao passo que os que apresentaram um ganho de peso diário de 800 g produziram 310 litros. O mesmo autor também observou que os suínos que tiveram conversão alimentar de 3,02 produziu 370 litros de dejetos e aqueles que tiveram conversão alimentar de 2,75 produziram 314 litros. Henry (1996), apud Oliveira (1994) sugere que, para cada redução de 0,1 na conversão alimentar, a excreção de nitrogênio seja reduzida em 3%.

Observando-se a Tabela 9, percebe-se que a presença de fósforo nos dejetos suínos é bem elevada. Dessa forma, a constante aplicação deste material orgânico no solo, a pretexto de adubação, acaba saturando a capacidade de absorção do solo, com a conseqüente careação do fósforo excessivo para as águas circunvizinhas devido à lixiviação e erosão pluvial ou eólica.

Como forma de demonstrar a existência de limites na absorção de fósforo por parte do solo, Seganfredo (2000) apresentou um cálculo do número de anos necessários para que sejam atingidos os índices de 25% e 100% de saturação de fósforo até as profundidades de 20 cm e 2 m. Por exemplo, cálculos feitos para a região dos Cerrados, onde se estabeleceu os seguintes pontos:

a) a base para o experimento tomou por base as terras da região dos Cerrados, onde ocorrem, em geral, apenas duas safras agrícolas anuais;

b) A quantidade de dejetos considerada economicamente correta para os Cerrados é de 45 a 135 m³/ha;

c) A cada safra as plantas retirariam do solo cerca de 54 kg/ha de fósforo (P₂O₅);

d) a primeira aplicação de dejetos aconteceria quando o solo ainda tivesse pouco fósforo acumulado e, finalmente;

e) a capacidade de retenção de fósforo de muitos solos de Cerrado encontra-se entre 824 e 6.880 kg/ha de fósforo (P₂O₅) para cada 20 cm de profundidade.

Naturalmente, existiram outras variáveis, como o tipo de planta presente no solo estudado ou os índices de fósforo adicionados ou acumulados em tal solo. De qualquer forma, a conclusão do estudo foi que num terreno com grande capacidade de absorção de fósforo seriam necessários 546 anos para esgotar a capacidade de 10 camadas com 20 cm de solo cada, considerando-se apenas uma safra e uma aplicação de 45 m³ de dejetos por ano. Entretanto, quando se projetam duas safras anuais e aplicação de 135 m³/ha de dejetos a saturação chegaria a apenas 71 anos.

Uma observação ligeira destes dados pode levar a uma idéia errônea de que o período de tempo necessário para saturação é bastante dilatado; o que não é verdade. Os números da projeção de Seganfredo (2000) certamente tomariam proporções alarmantes, se o solo analisado fosse um que apresenta menor capacidade de saturação por fósforo. Não se deve esquecer, também, que em determinadas regiões do Brasil o número de safras chega a quatro anuais. E, por último, mas não menos alarmante, o autor não especificou o tipo de dejetos animal utilizado na pesquisa e nem o tipo de planta presente em tais solos. Uma planta que apresente baixa capacidade de absorção de fósforo aceleraria, enormemente, a velocidade de saturação do solo por este elemento químico.

Pelos dados apresentados até o momento, percebe-se a importância de se dar um destino apropriado aos dejetos de suínos em qualquer região, como forma de evitar que a capacidade produtiva do solo fique comprometida por este material orgânico.

2.4.3. Dejetos de Suínos e a Poluição da Água

A suinocultura, sem fiscalização, sem controle e sem tratamentos adequados dos dejetos, gera problemas ambientais e de saúde pública graves. Os problemas ocorrem de forma insidiosa, silenciosa, sem quase chamar a atenção. A prática da suinocultura intensiva descontrolada é uma atividade altamente poluidora de mananciais e fontes de água. O mais grave é a presença de forma maciça numa dada região onde se tem um número considerável de suinoculturas aglomeradas. Ainda não existe grande número de rebanho em Angola, de acordo com o Ministério do Ambiente de este país. O rebanho na província do Bengo vai crescendo consideravelmente por se encontrar muito próximo a capital do país, sendo assim, cada vez mais crescente o número de suinoculturas.

"Assim, embora seja a suinocultura uma atividade potencialmente poluidora, sujeita ao prévio licenciamento ambiental, o que se verifica na prática, é que ainda prevalecem às propriedades rurais com instalações inadequadas para o manejo e destinação final dos dejetos suínos", na sua maioria são a céu aberto, sem o controle dos dejetos.

Uma das razões para que a suinocultura seja, no geral, tão poluidora, reside no fato de uma das formas mais utilizadas para tentar minimizar o impacto dos dejetos no meio-ambiente, as bioesterqueiras ou câmaras de fermentação usadas na tentativa de depurar os dejetos e transformá-los em adubo orgânico, não passam, normalmente, de simples valas abertas no solo, revestidas de lona plástica resistente, onde os efluentes permanecem em depósito a céu aberto, exalando maus odores e causando muitos transtornos, como a proliferação de moscas e ratos.

Segundo Gaspar (2003), muitos suinocultores encontram dificuldades na disposição de dejetos no solo e acabam deixando as esterqueiras extravasarem e, assim, contaminar lençóis freáticos. Ainda de acordo o mesmo autor, muitos produtores deixam de agitar a esterqueira de armazenamento de dejetos fazendo com que ocorra um assoreamento da lagoa. A agitação é essencial e recomendada 4 horas antes da retirada dos dejetos para transporte. A maioria dos suinocultores não obedece a esse tempo. A interligação das lagoas também desempenha grande papel na ocorrência. Cada lagoa deve receber seu volume de dejetos; ao interligá-las, a primeira lagoa só perderá líquido para a segunda; torna-se uma espécie de decantador. A deposição de lodo na primeira é muito mais alta e o assoreamento torna-se inevitável. Órgãos de vigilância ambiental determinam que 120 dias seria o tempo necessário para o armazenamento nas esterqueiras (GASPAR, 2003).

Acredita-se que tudo isto se deve ao fato de que poucos suinocultores possuem área e recursos financeiros disponíveis para implantação de um sistema de tratamento e outros por falta de conhecimento de tais agressões.

Empresas de pesquisas agropecuárias buscam, cada vez mais, o baixo custo desses sistemas. A lona, que é utilizada na maioria das granjas, segundo Cícero Bley Jr. da Ecoltec, não é sinônimo de impermeabilização. O ideal seria um piso de concreto que impedisse a infiltração no solo. A compactação de cerca de 20-30 cm de solo seria paliativa, mas, minimizaria as infiltrações. Mas, essas ações implicam em um alto custo e por isso também não são utilizadas. Mas, se não existem condições de substituições também não se deve excluir as lonas (www.sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br).

A Suino.com (2002) e Gnigler (2001) alertam para outros fatores, como a prevalência do minifúndio. Neste tipo de propriedade, as benfeitorias, originariamente, foram implantadas sem planejamento, sendo as pocilgas erguidas próximas às fontes de água.

Outro fator relevante é a dificuldade encontrada pelo suinocultor em compreender que o ônus da produção sem degradação do meio ambiente é de sua responsabilidade. Dessa forma, cabe ao suinocultor dar destinação adequada aos efluentes produzidos nos limites de sua propriedade.

Uma vez que o criador é responsável pelos danos que os dejetos de seus animais possam causar ao meio ambiente, convém examinar, então, quais as implicações legais decorrentes do descumprimento das normas estabelecidas pelas leis de conservação ambiental (em nível de país, província ou município).

2.5. Produção, Características e Utilização do Biogás.

Segundo Seixas (1980), a decomposição anaeróbica desenvolve-se ao longo de três fases distintas:

a) Fase de Hidrólise: Quando ocorre à liberação, pelas bactérias, no meio anaeróbico, de enzimas extracelulares, que causam à hidrólise das partículas orgânicas, transformando as moléculas em moléculas menores e solúveis ao meio.

b) Fase de Acidulação: Como o próprio nome indica nesta fase as bactérias produtoras de ácidos degradam moléculas de proteínas, gorduras e carboidratos em ácidos orgânicos (como ácido láctico e butílico), álcool, como o etanol, e gases, como amônia, hidrogênio e dióxido de carbono, entre outros.

c) Fase de Metanogênese: Nesta fase, as bactérias metanogênicas agem sobre o hidrogênio e o dióxido de carbono, transformando-os em álcool (metano).

É comum ocorrer uma diminuição na velocidade da cadeia de reações, pois as bactérias acabam ficando isoladas do meio em digestão devido à presença de micro bolhas de metano e/ou dióxido de carbono que permanecem em torno das mesmas, isolando-as do contato com a biomassa. Por essa razão, cada biodigestor deve possuir um mecanismo para agitação do meio em digestão (através, por exemplo, de movimentos giratórios do gasômetro), o que provoca o desprendimento destas bolhas em direção à câmara do gás, liberando as bactérias para a continuidade de seu trabalho de degradação orgânica. (DE MIRANDA, et.al., 2004)

Seixas (1980) ressalta, ainda, que para a produção de biogás ser satisfatória deve ser atendido os critérios essenciais de sustentação de vida dos microorganismos anaeróbios (bactérias), como a impermeabilidade do meio ao contato com o ar atmosférico, temperatura adequada, quantidade suficiente de nutrientes orgânicos, ausência de substâncias tóxicas aos organismos anaeróbicos e teor de água adequado.

Reis (1991) lembra que as atividades biológicas dos microorganismos anaeróbicos, seu desenvolvimento, reprodução e metabolismo, prescindem da presença de oxigênio, o qual, dependendo do tempo de exposição dos microorganismos lhes é fatal. Sabe-se que a decomposição de biomassa em contato com o oxigênio produz dióxido de carbono (CO₂), enquanto que, na ausência de ar (e, portanto, oxigênio) é produzido o gás metano. Qualquer falha na vedação do biodigestor inibe, quando não inviabiliza, a produção de biogás.

Indubitavelmente, a temperatura encontrada no interior da câmara de digestão afeta significativamente a produção de biogás, uma vez que os microorganismos metanogênicos são extremamente sensíveis a alterações bruscas de temperatura. Devido a isso, Costa, Silva e Gomes (1985) aconselham que a escolha do terreno para a instalação do biodigestor e os processos de impermeabilização e vedação (reboco) das paredes do aparelho seja cuidadosamente executada, a fim de assegurar uma temperatura relativamente estável.

Os nutrientes mais importantes para a vida dos microorganismos são o carbono, o nitrogênio e alguns sais orgânicos. A proporção de carbono em relação ao nitrogênio na biomassa com que se carrega o biodigestor deve ser mantida entre 20:1 e 30:1, o nitrogênio se encontra em grande quantidade nos dejetos animais, ao passo que os polímeros presentes (celulose, hemicelulose, quitina, etc) nos restos de culturas (palha ou forragem) são os principais fornecedores de carbono. Isto explica por que a produção de biogás não pode ser bem sucedida se apenas uma fonte de material orgânico for utilizada.

O teor de água deve normalmente situar-se em torno de 90% do peso do conteúdo total. O excesso ou a falta de água é igualmente prejudicial à produção de biogás. As

características específicas das matérias-primas a serem fermentadas devem ditar o teor de água presente na mistura.

É simplesmente impossível impedir que determinados elementos prejudiciais aos microorganismos adentrem o biodigestor, dissolvidos na mistura da biomassa. Entretanto, certos compostos e elementos, como NaCl, Cu, Cr, NH₃, K, Ca, Mg e Ni, não representam uma grande ameaça se suas concentrações estiverem muito diluídas. A presença destas substâncias pode ser evitada ou minimizada se for feito um estudo criterioso da alimentação dos animais, que contribuem para a formação da biomassa. Alguns tipos de ração podem conter altos teores de alguns desses elementos, e uma simples mudança na dieta dos animais pode ser a solução do problema. O exame da água a ser misturada com a matéria orgânica também é uma medida apreciada para evitar que substâncias nocivas à vida dos microorganismos sejam adicionadas à biomassa, que abastece a câmara de digestão. A água deve ser de fonte natural.

Quando as especificações de qualidade de vida dos microorganismos são atendidas, o biogás obtido deve segundo Seixas et al (1980), ser composto de uma mistura de gases, com cerca de 55 ou 75% do volume total consistindo em metano, enquanto os 35 ou 45% restantes consistem, principalmente, em gás carbônico, e quantidades menores de outros gases, como, por exemplo, hidrogênio, monóxido de carbono, nitrogênio, etc. Naturalmente, a composição do biogás varia de acordo com o tipo e quantidade de biomassa empregada. Os fatores climáticos e as dimensões do biodigestor, entre outros, mas a composição básica não deve variar significativamente, devendo apresentar a composição descrita na tabela 10.

Tabela 10. Composição Média do Biogás

Tipo de Gás	Composição do Biogás em %
Metano (CH ₄)	55-70
Gás Carbônico (CO ₂)	25-40
Nitrogênio (N ₂)	0-1
Hidrogênio (H ₂)	0,8-4
Gás Sulfídrico (H ₂ S)	0,3-2

Fonte: SGANZERLA, (1983)

O Biogás é um gás inflamável produzido por microorganismos quando matérias orgânicas são fermentadas dentro de determinados limites de temperatura, teor de umidade e acidez, em um ambiente impermeável ao ar. O metano, principal componente do biogás, não tem cheiro, cor ou sabor, mas os outros gases presentes conferem-lhe um ligeiro odor de alho ou de ovo podre (gás sulfídrico). O peso do metano é pouco mais da metade do peso do ar, ou seja: 1 m³ de metano/1 m³ de ar equivale a 0,716 kg/1,293 kg, ou seja, 0,554 kg. (BARRERA, 1993)

Outro dado importante a ser computado na análise da capacidade calorífica do biogás: enquanto um barril de petróleo custa aproximadamente US\$ 71,57 (valor em Agosto de 2009), um metro cúbico de biogás apresenta um custo mínimo. Um metro cúbico de biogás, oriundo de um biodigestor corretamente instalado e operado, custa bem menos ao produtor; pois a matéria-prima para a produção do biogás representa apenas o custo normal, que o criador tem de manter o animal vivo e saudável (vacinas, rações, estrebarias, pocilgas).

Tabela 11. Capacidade de Geração de 1m³ de Biogás

Esterco Fresco de Vaca [Kg]	Esterco de Suíno [Kg]	Esterco Seco de Galinha [Kg]	Resíduos Vegetais [Kg]	Lixo [Kg]
25	12	5	25	20

Fonte: BARRERA, Paulo. Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural. São Paulo: Ícone, 1993

Examinando os dados da Tabela 11, se percebe que, no caso dos dejetos suínos como matéria-prima, a produção de 1m³ de biogás requer somente 12 kg de dejetos suínos. Assim sendo, se um suíno produz, em média, cerca de 2,49 kg de dejetos/dia, são necessários cerca de 5 animais para a produção de 12 kg/diários de dejetos, com conseqüente produção de 1m³ de biogás.

2.6. Produção, Características e Utilização do Biofertilizante.

Biofertilizante é o efluente dos biodigestores. Resulta da fermentação anaeróbica da matéria orgânica ao produzir biogás. Pode ser sólido ou líquido:

Os dejetos sólidos no seu estado natural, contém muita fibra, e utiliza-se como adubação de fundação por ocasião do plantio, bem como adubação periódica por enterramento em torno da copa da planta. Sua assimilação é lenta.

O biofertilizante líquido (biolíquido) é a parte aquosa do biofertilizante natural quando se efetua o peneiramento e a filtração, provocando-se a eliminação do conteúdo sólido. Este produto pode ser usado em aspersão como adubo folhear ou diretamente no solo junto às raízes, bem como hidropônica. A assimilação pelas plantas se efetua com muita rapidez, de modo que é muito útil na cultura de ciclo curto.

Como o adubo possui uma composição altamente complexa e variável; por ser um produto fermentado por bactérias e leveduras, a matéria orgânica vegetal servida de base alimentar; contém quase todos os macros e micronutrientes necessários a nutrição vegetal. Além disso, já foi evidenciado em pesquisas realizadas em vários países, que o biofertilizante possui efeitos, tais como fitohormonal, fungistático, bacteriostático, de repelências contra insetos, nematicidas e acaricidas. Age, portanto, como um protetor natural das plantas cultivadas, contra doenças e pragas. E o mais importante: com menos danos a ecologia e sem perigo para a saúde humana. O resultado são os produtos como vegetais e hortaliças orgânicas.

São principalmente considerados biofertilizante, devido aos seguintes aspectos: Diminuição no teor de carbono do material, pois a matéria orgânica ao ser digerida perde exclusivamente carbono na forma de CH₄ e CO₂; aumento no teor de nitrogênio e demais nutrientes, em consequência da perda do carbono; diminuição na relação C/N da matéria orgânica, o que melhora as condições do material para fins agrícolas; maiores facilidades de imobilização do biofertilizante pelos microrganismos do solo, devido ao material já se encontrar em grau avançado de decomposição o que vem aumentar a eficiência do biofertilizante; solubilização parcial de alguns nutrientes. (USP, 2001).

O biofertilizante possui coloidais carregados negativamente, o que o faz trocar por carga iônica, absorção superficial e coagulação. Seu poder de fixação dos sais é maior que das argilas, sendo responsável direto pela maior parte da nutrição das plantas, com até 58% da capacidade total de troca de bases do solo. Estabiliza os agregados de modo que resistam à

ação desagregadora da água, absorvendo as chuvas mais rapidamente, evitando a erosão e conservando a terra por mais tempo. (SGANZERLA, 1983).

Outra vantagem advinda da aplicação de biofertilizante é que estes deixam a terra com uma estrutura mais porosa, permitindo maior penetração do ar e água na zona explorada pelas raízes. Com isso, a respiração dos vegetais fica facilitada e os mesmos obtêm melhores condições de se desenvolver. O gás carbônico presente no ar, ao circular melhor pelo solo, forma ácido carboxílico, o qual irá solubilizar sais que se encontram em formas insolúveis, facilitando sua assimilação pelas plantas.

Após a produção do biogás, a biomassa fermentada deixa o interior do biodigestor sob a forma líquida, rica em material orgânico (húmus), com grande poder de fertilização. Este biofertilizante, aplicado ao solo, melhora as qualidades físicas, químicas e biológicas deste. É possível, logicamente, usar adubos químicos em lugar da matéria orgânica, mas estes não podem suprir as qualidades físicas e biológicas fornecidas por aquela. Além disso, Sganzerla (1983) lembra que o excesso de adubação química causa mineralização do solo, ressecando-o, endurecendo-o e dificultando a entrada da água e do ar, o que provoca e facilita a ocorrência de erosão.

Além disso, Gaspar (2003), afirma que os sais, muito solúveis, destroem as bactérias que vivificam o solo, deixando-o indefeso, propenso a invasões por insetos, fungos, nematóides e vírus, entre outros, que causarão, certamente, danos às plantas. O agricultor lança mão, neste momento, do uso de defensivos agrícolas, os quais, além de poluírem o solo, eliminam os predadores naturais das pragas, criando a necessidade de novos defensivos serem aplicados. Essa prática dá início a um ciclo vicioso, que só poderá ser quebrado com a aplicação de grande quantidade de matéria orgânica.

Percebe-se, portanto, a sensatez de se preservar a integridade física química e biológica do solo, pois a saúde deste resulta na saúde das plantas que o mesmo abriga. A principal razão para a grande capacidade de fertilização do biofertilizante se encontra no fato da digestão da biomassa (no interior do biodigestor) diminuir drasticamente o teor de carbono presente na mesma. De acordo com Sganzerla (1983), isso ocorre porque, na biodigestão, a matéria orgânica, perde exclusivamente carbono sob a forma de CH₄ (Metano) e CO₂ (gás Carbônico). Além disso, há o aumento do teor de nitrogênio e demais nutrientes, devido à perda do carbono e, conseqüentemente, diminuição na relação C/N da matéria orgânica. Com isso, os microorganismos do solo (bactérias nitrogenadoras) conseguem um melhor índice de fixação do nitrogênio, além do fato do próprio biofertilizante conter alguns nutrientes já solubilizados. Com seu nível de pH (em torno de 7,5), o biofertilizante funciona como

corretor de acidez, eliminando o alumínio e liberando o fósforo dos sais insolúveis do alumínio de ferro. Com a elevação do pH dificulta-se a multiplicação de fungos patogênicos.

A grande capacidade de fixação apresentada pelo biofertilizante evita a solubilidade excessiva e a lixiviação dos sais, mantendo-os sob formas aproveitáveis pelas plantas, cujo delicado sistema radicular é o único capaz de desagregar estes nutrientes. O biofertilizante, ao contrário dos adubos químicos, melhora a estrutura e a textura do solo deixando-o mais fácil de ser trabalhado e facilitando a penetração de raízes, que conseguem absorver melhor a umidade do subsolo, podendo resistir mais facilmente a longos períodos de estiagem.

O biofertilizante favorece a multiplicação das bactérias aos milhões, dando vida e saúde ao solo. A intensa atividade das bactérias fixa o nitrogênio atmosférico, transformando-o em sais aproveitáveis pelas plantas. As bactérias radicícolas que se fixam nas raízes das leguminosas têm seu desempenho e desenvolvimento melhorado.

Além dessas características inestimáveis, que aumentam muito a produtividade das lavouras, deve-se frisar ainda que o biofertilizante já se encontra completamente "curado", na expressão do campo, pois não sendo passível de nova fermentação, não apresenta odor nem é poluente e, com isso, não atrai moscas ou outros insetos. Ao contrário de outros tipos de adubos, o biofertilizante, segundo Sganzerla (1983), pode ser aplicado diretamente no solo, em forma líquida ou desidratada, dependendo das condições locais. O poder germinativo das sementes de plantas prejudiciais à lavoura, e que passaram incólumes pelo sistema digestivo e excretor dos animais, é destruído pelos efeitos da biofermentação, não havendo perigo de que infestem as lavouras onde forem aplicados. De acordo com Sganzerla, (1983), a composição do biofertilizante varia de acordo com a biomassa utilizada e pode ainda, depois de desidratado, ser utilizado para dar volume à composição de rações para animais.

2.7. Biomassa, Biogás e Geração de Eletricidade via Biogás

A biomassa foi a principal fonte energética até o início do século 20, quando, então, veio a chamada “era do petróleo” e a biomassa energética foi relegada e largamente ignorada, Rosillo-Calle 2000). Desta forma, o aproveitamento eficiente da energia térmica com base no petróleo e carvão mineral foi intensamente estudado, enquanto que a biomassa foi tecnologicamente abandonada neste período, afirma o mesmo autor.

Em termos de energia, deve-se distinguir entre biomassa que é cultivada com a finalidade de produção de energia (plantas energéticas) e biomassa que abrange todos os resíduos orgânicos provenientes de outras atividades. As propriedades físicas mais importantes da biomassa sólida são a porcentagem de umidade e a densidade energética. A baixa densidade energética de biomassa sólida em comparação com o petróleo e o carvão mineral origina custos elevados de transporte e armazenamento. O desenvolvimento contínuo de técnicas para aumentar a concentração de energia (por exemplo, briquetagem) ampliará o espectro de utilização da biomassa na transformação energética. A porcentagem de umidade influencia significativamente a qualidade de combustão e o poder calorífico da biomassa (STAISS e PEREIRA, 2001).

Os resíduos animais constituem uma alta proporção de biomassa e seu uso coerente é importante para os aspectos econômicos e ambientais.

A digestão anaeróbia tem sido uma das mais mundialmente utilizadas formas de tratamento desses resíduos e representa uma fonte alternativa de energia via produção de biogás (MASRI, 2001).

Os resíduos, provenientes da criação animal, tal como avicultura e suinocultura, por exemplo, têm um alto potencial para poluição. Tradicionalmente, esses têm sido lançados diretamente ao solo como fertilizantes, mas, em algumas situações, esses métodos podem causar problemas ambientais. Duas opções para aproveitamento energético foram estudadas para esses tipos de resíduos na Europa: uma é a digestão anaeróbia dos resíduos de suinocultura, e a outra é a combustão direta, aproveitando-se a cama de aviário.

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é utilizada para estimar a produção teórica de metano, Potencial Bioquímico do Metano – Bmp em processos anaeróbios, OWEN (1979). Segundo Speece (1996); CCE (2000) a produção teórica de metano assume sempre um valor fixo, expresso em função da DQO, onde 1 kg de DQO convertido corresponde a 0,35 m³ de metano (CH₄). A conversão dos dejetos diluídos em biogás leva em consideração a biodegradabilidade da matéria orgânica (75%), a eficiência de conversão no biodigestor

(85%) e a fração de matéria orgânica utilizada pelas bactérias no seu próprio crescimento (5%).

Muitos estudos têm sido realizados visando ao uso do biogás como combustível em sistemas de cogeração nas áreas rurais. Stahl et al. (1981) descreveram a utilização de um sistema de cogeração de 22,5 kW, com posterior adequação de cargas térmicas e elétricas para suprir os usos finais de uma propriedade agrícola. Siebenmorgen et al. (1988) apresentaram um trabalho de produção de eletricidade e aquecimento de água utilizando uma unidade de cogeração de 40 kW numa propriedade rural com resíduos de gado leiteiro. Koelsch e Jewell (1982) elaboraram um estudo de um sistema de cogeração de 15 kW em uma propriedade rural com resíduos de gado leiteiro e foram detalhadas as variações das cargas, as misturas do biogás como combustível para o gerador elétrico. Fischer e Schrattenholzer (2001) estabeleceram um estudo de caso sobre o uso de biogás como combustível alternativo em uma propriedade rural composta de digestor anaeróbico e com um rebanho suíno de 3.200 cabeças em fase de terminação. Em uma instalação comunitária de biogás na Aldeia Pura – Índia Reddy (2004) o biogás é utilizado em um motor de combustão interna com potência equivalente a 5,2 kW, acoplado a um gerador de 5 kVA para geração de energia elétrica.

2.8. Biosistemas Integrados

Neste item é feita uma rápida abordagem sobre a viabilidade técnica econômica e ambiental da implantação de biosistema integrados de tratamento de dejetos suínos em médias e grandes propriedades suinocultoras da região de Icolo Bengo - Bengo, envolvendo a construção de biodigestores para a produção de energia elétrica. Uma vez que tal estudo visa demonstrar a exequibilidade da implantação numa propriedade específica, não serão examinados, em profundidade, os projetos destinados a propriedades com características não semelhantes a esta.

A expressão Biosistema Integrado costuma ser aplicado ao desenvolvimento sistemático e de forma integrada de uma ou mais atividades rurais (criação de suínos, bovinos, caprinos, ovinos, muares, aves, entre outras) em uma mesma propriedade rural, de tal forma que uma atividade termine por complementar a outra, com aproveitamento total das potencialidades de cada uma. Um exemplo disso ocorre quando são utilizados os dejetos da criação de bovinos após o devido tratamento por lagoas de decantação, na alimentação de peixes e alevinos, reduzindo ou evitando completamente a compra de ração para estes. Essa economia por parte da piscicultura pode ser revertida em favor da aquisição das rações,

medicamentos e vacinas requeridas pelos bovinos. Além disso, as algas criadas nos tanques de decantação, além de serem empregadas na alimentação de peixes e pós-larvas de camarões, podem ser adicionadas às rações de bovinos, diminuindo ainda mais os gastos da propriedade com tais insumos.

Assim, uma associação entre as atividades da bovinocultura e da piscicultura resulta em um Biosistema Integrado, de grande significado para o desenvolvimento sustentável da propriedade rural.

Da mesma forma, esta associação pode ser estendida à prática da suinocultura, onde o objetivo é integrar o sistema de geração de energia elétrica, na produção de biogás.

2.8.1. Definição de Biosistema Integrados

A introdução do biosistema Integrado possibilitará uma agregação de valor para a propriedade e sinergia entre vários setores produtivos da agropecuária.

O tratamento de seus dejetos será uma consequência natural, que ocorre da seguinte forma:

Os dejetos de suínos são tratados num biodigestor, que consiste de um sistema fechado, evitando a presença de oxigênio, onde as bactérias promovem a digestão dos dejetos ali existentes, diminuindo em até 60% a sua carga poluente. Neste processo ocorre a produção de um gás (biogás), que será usado para acionar uma máquina de combustão interna (uma turbina à gás, por exemplo) que por sua vez acionará o gerador elétrico (alternador) e dependentemente da quantidade de biogás poderá ser utilizado também na cozinha, iluminação, aquecimento de água, aquecimento do aviário, entre muito outros usos. Logo após, o material digerido que sai do biodigestor pode ser utilizado como um bom fertilizante, pois se encontra numa forma facilmente assimilável pelas plantas, sem o problema de cheiro e bactérias nocivas.

A parte líquida que sai do biodigestor vai para um tanque onde ocorre o desenvolvimento de pequenas algas. Estas proporcionam o aumento da quantidade de oxigênio dissolvido na água e crescem a partir dos nutrientes disponibilizados no biodigestor.

Assim, ocorre nova diminuição da carga poluente em aproximadamente 30%. Estas algas, juntamente com a água, podem ser utilizadas em tanque de peixes, onde servirão de alimento para os mesmos, dispensando ou diminuindo a quantidade de ração. A água desse mesmo tanque pode ser utilizada para a prática de hidroponia, que é uma técnica de produção

de plantas (principalmente verduras) que para seu crescimento, utilizarão os nutrientes existentes na água. Para áreas que possuem hortas ou pomar o benefício é maior.

Também, durante o processo de biodigestão, será produzido o biogás, energia renovável que é prejudicial se liberada diretamente no meio ambiente, sendo o gás com maior influência no fenômeno do efeito estufa devido a sua composição Seixas (1980). 1 ton de metano equivale a 21 ton de dióxido de carbono como provocador do Efeito Estufa.

A adoção deste tipo de tecnologia contribui de maneira significativa no tratamento de dejetos de suínos, como forma de minimizar as causas do efeito estufa, lembrando que a Convenção do Clima, firmada por mais de 150 países em março de 1992 e com cada vez mais crescente o número de países que o aderem, estabeleceu que os países signatários devessem elaborar seus respectivos inventários de emissão de gases de efeito estufa. Angola não poderá fugir a regra. Será necessário que o crescimento seja acompanhado com estes princípios para evitar trabalhos a dobrar num futuro breve.

Deve-se levar em conta, que nem todas as propriedades rurais podem dispor de espaço suficiente ou condições adequadas, para acomodar várias lagoas de decantação/criação de algas.

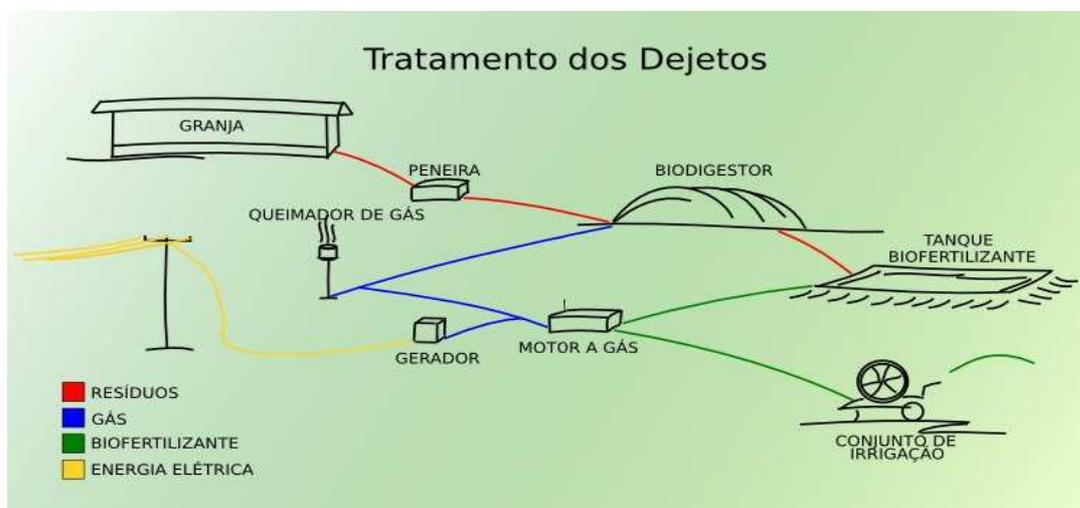


Figura 4. Sistema integrado, produção de biogás, fertilizantes e energia elétrica.

A figura 4 exhibe um sistema integrado em que, numa linha, se produz biogás e, conseqüentemente, energia elétrica, noutra biofertilizante e o seu uso em lavouras como adubo e ainda tem-se a integração de um sistema de bombas elevadoras funcionando a gás que bombeiam o fertilizante. Toda a energia é gerada localmente.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Procedimento Metodológico

Antes de qualquer estudo técnico de engenharia dos parâmetros de projeto dos biodigestores a serem instalados na Fazenda Menga, optou-se por um levantamento geral de todas as condições de contorno que pudessem de alguma forma, contribuir e se transformarem em dados técnicos, para a elaboração de um projeto direcionado para a região em estudo.

Elaborou-se, inicialmente, um plano de visita a região a estudar, assim como visita aos órgãos de tutela. Foram feitas entrevistas baseando-se em perguntas de forma a recolher informações que ajudassem na elaboração desta pesquisa, e não de forma a produzir alguma estatística. O formulário utilizado encontra-se no anexo 2.

As questões visavam colher as impressões, opiniões e sugestões dos questionados, sobre o nível de conhecimento sobre a tecnologia de tratamento dos dejetos suínos e a utilização de biodigestor assim como o não tratamento dos dejetos dos suínos, sua consequência no solo e na água. Foi questionada a utilização ou não dos biodigestores para a produção de energia elétrica, nas propriedades pesquisadas, assim como, a utilidade destes na preservação do solo e mananciais d'água, bem como as dificuldades encontradas para uma maior organização, expansão e disseminação de suinoculturas e a implantação de tecnologia de biodigestor nesta região.

O questionário foi aplicado nos meses de Outubro Novembro e Dezembro de 2009. Os questionários foram preenchidos no local da entrevista pelo entrevistador e, em alguns casos, bastava uma conversa, para se obter as informações necessárias. Contatos telefônicos e recolha de opiniões por correspondência eletrônica (via e-mail) também foram utilizados. Os dados coletados foram comparados entre si e as opiniões e sugestões confrontadas com a pesquisa bibliográfica e informações de documentos oficiais sobre a região, a fim de contextualizar a viabilidade de cada uma.

As respostas, às observações e anotações, como um todo, serviram de base, para elaboração do projeto básico e, daí, partiu-se para o projeto final dos biodigestores, dedicado à Fazenda Menga, mas, que pode ser também aplicado à toda a região estudada.

3.2. Caracterização do Objeto de Estudo

A fazenda Menga, em construção, localiza-se em Angola, na província do Bengo, no município de Icolo Bengo. Os Perfis topográficos, climáticos e da pecuária praticada localmente, na região, foram focalizados de forma a se entender as suas condições naturais.

3.2.1. Perfil Topográfico e Climático de Icolo e Bengo

A figura 5 exhibe o mapa de Angola, mostrando a Província do Bengo, à noroeste do país, destacada na cor verde. Corresponde a uma área administrativa de Angola, tendo sido criada por força da Lei nº 3/80 de 26 de Abril de 1980, com capital na vila de Caxito. Administrativamente divide-se em 8 Municípios: Ambriz, Nambuangongo, Dande, Icolo e Bengo, Kisama, Dembos, Pango-Aluquem, Bula Atumba e 32 Comunas. Fica a 55 km de Luanda, capital de Angola. A faixa costeira é temperada pela corrente fria de [Benguela](#). Bengo fica entre as Latitudes de aproximadamente 7° S, ao norte e cerca de 10° S, ao sul da província. É banhada à oeste pelo oceano atlântico.



Figura 5 – Mapa de Angola, com a Província do Bengo na cor verde.

A província do Bengo, enquadra-se numa zona B, definida na Lei sobre os incentivos fiscais no artigo 5º, onde os lucros resultantes de investimentos estão isentos do pagamento de imposto industrial, por um período de 12 anos. Beneficia ainda de uma taxa de até 75% de desconto para investimentos situados entre USD 50 000 e 250 000. Como se pode ver no seu artigo 14º nos pontos 1 e 2. da mesma lei.

O clima da cidade é do tipo tropical seco. A temperatura durante a estação chuvosa é de 26°C (Outubro a Abril) e durante a estação seca (Maio a Outubro) fica em torno de 22°C a 23°C, O regime pluviométrico da região apresenta precipitações anuais em torno de 250 a 500 mm, e umidade relativa do ar entre 80% e 85%. A província apresenta um subsolo rico em asfalto e gesso e uma larga e historicamente conhecida extensão de terra arável. Situado a uma altitude média de 300 metros acima do nível do mar e tendo seu ponto mais elevado a 500 metros. (A rede hidrográfica é formada pelos rios Dande, Zenza, Kwanza e Longa, todos deságuam no oceano atlântico), (MINADER, 2006).

A grande disponibilidade de água, oriunda da bacia hidrográfica do rio Kwanza e do índice de precipitação pluviométrica, também contribui para a criação de suínos, que utiliza grande quantidade de água, seja nos bebedouros, seja para lavar as edificações de confinamento, seja no abate.

A temperatura média da região, em torno de 24°C, também é propícia para o bom funcionamento dos biodigestores, os quais devem funcionar sob ação de uma temperatura a fim de evitar o pré-aquecimento da água utilizada para a mistura com os dejetos.

Os pontos a seguir, constituem os pontos fortes para a implantação do projeto:

A região não possui uma fazenda igual;

Nas imediações de Cidade Capital, não existe um matadouro de suínos com a capacidade maior do que a projetada nesta fazenda.

A carne suína consumida em Luanda e arredores é, na sua maioria, importada ou abatida em matadouros amadores;

Os criadores encontram dificuldades no transporte e venda de suínos para abate;

Os matadouros existentes, não conseguem corresponder à demanda dos supermercados e açougues existentes na região;

A energia elétrica na região é deficiente, com falhas constantes e, mesmo assim, muito concorrida, não havendo disponibilidade para a capacidade requerida no projeto;

Será o primeiro projeto do gênero a ser implantado na região;

Com estes pontos citados, o município de Icolo - Bengo é ideal para a implantação de qualquer tipo de biodigestor ou projeto do gênero, pois o retorno e a probabilidade de sucesso são maiores.

3.2.2. Perfil da Pecuária no Município de Icolo e Bengo

A região de Icolo Bengo possui condições adequadas para implantação e desenvolvimento da produção pecuária em suinocultura. As amostras da suinocultura doméstica realizadas no local mostram o potencial que esta área possui e as condições propícias para o desenvolvimento de qualquer raça de gado suíno.

Segundo dados da administração local, atualmente o rebanho de suínos no município encontra-se na faixa de 4500 cabeças, sofrendo um aumento considerado, diariamente, com o aumento de criadores e a organização dos mesmos. Se este rebanho estivesse num sistema confinado, garantiriam a produção de matéria-prima (dejetos) para funcionamento adequado de quaisquer dos modelos de biodigestores mostrados. Isto contando por número de rebanho disperso existente.

Com o crescimento da suinocultura, a relação produção de biogás e produção de eletricidade também cresce consideravelmente, podendo chegar a níveis suficientes para produzir energia que pode, inclusive, cobrir o município de Icolo e Bengo, dependendo da produção.

Para o tipo de atividade que se pretende realizar na fazenda Menga (criação e abatedouro de suínos), o rebanho é suficiente para garantir a produção de biogás e, conseqüentemente, a produção de energia elétrica para a propriedade, sendo utilizados não só os dejetos provenientes das baias, mas, também os gerados nos matadouros.

3.3. Resultados da Pesquisa Realizada no Município de Icolo Bengo

A seguir, são analisados e discutidos os resultados da pesquisa de campo (entrevista) com as opiniões e colaborações dos pesquisados sendo comparadas aos dados da pesquisa bibliográfica, com o intuito de extrair sugestões válidas para a implantação de biodigestores em propriedades suinoculturas e a resolução de problema da poluição de águas e solo por dejetos suínos, caso os dejetos não sejam tratados.

Foram entrevistadas 120 pessoas, das quais 45 são residentes da região de Icolo Bengo. O restante tem alguma ligação com a região, ou trabalham nos ministérios da

Agricultura e Desenvolvimento Rural ou no Ministério do Ambiente. Seguindo o formulário que se encontra no apêndice 2, 70% dos entrevistados, ao responderem a primeira pergunta, disseram que a suinocultura cresce muito na região, enquanto que para segunda pergunta, o sistema de confinamento foi o escolhido como ideal para a região. Assim o disseram 97% dos entrevistados. Sobre a consequência da exposição dos dejetos ao solo sem tratamento, 45% dos entrevistados responderam que poluía o ar atmosférico.

Sobre a utilidade dos dejetos suínos, 52% da população entrevistada responderam conhecer sua utilidade, mais apenas 5% desta população responderam positivamente em conhecer algum método de tratamento. Sobre os Biodigestores, apenas 4% dos entrevistados responderam que já ouviram falar sobre biodigestores, sendo que nenhum deles respondeu positivamente sobre alguma algum biodigestor instalado na região ou no País. 52% dos entrevistados responderam conhecer alguma potencialidade dos dejetos suínos, mais apenas 5% desta população já ouviu falar do Biogás. O fornecimento de energia elétrica na região é feita por termoelétrica, assim afirmaram 60% da população entrevistada, sendo que dos que possuíam algum empreendimento local, 15% da população total, responderam gerar sua própria energia por geradores locais. Entende-se por estes empreendimentos se situarem muito fora da sede do município onde a rede elétrica do estado termina.

Para os que possuíam fazendas, 60% deles responderam que a energia servia para iluminação e para os aparelhos eletrodomésticos, enquanto que 10% deles responderam acionar também alguma máquina elétrica. 70% dos fazendeiros negaram estar associados a alguma organização a nível do setor e 60% deles possuem acima de 50 cabeças de suínos.

Para a maior surpresa, desse trabalho de pesquisa, 100% dos entrevistados e que possuíam fazenda, gostariam de implantar algum sistema de tratamento de dejetos suínos em seus empreendimentos. Isto demonstra o interesse em colaborar para a preservação ambiental, e se adequar aos padrões hoje exigidos.

3.4. Tratamentos do Biogás

O Biogás pode ser utilizado, no estado bruto, em fogões, aquecedores, caldeiras das termoelétricas e iluminação. Mas, para um aproveitamento energético para produção de energia elétrica através da sua queima em Máquinas de Combustão Interna (Motores e Turbinas a gás) é necessário um processo de purificação. Além de substâncias agressivas e poluentes como o gás sulfídrico, a presença de gás carbônico e umidade excessiva prejudicam o rendimento termodinâmico dos motores. Existem muitas técnicas, patenteadas, cujo

objetivo é o tratamento do biogás, para diversos fins. Muitas empresas hoje estão especializando-se neste assunto, para tal já é comerciável sistemas de filtragem, e tratamento de biogás.

A presença de substâncias não combustíveis no biogás, como a água e o dióxido de carbono prejudica o processo de queima, tornando-o menos eficiente. Estas substâncias absorvem parte de energia gerada. Além destes, também há a presença de gás sulfídrico (H₂S) que pode acarretar corrosão, diminuindo tanto o rendimento, quanto à vida útil do motor térmico utilizado. A maioria dos biodigestores anaeróbicos produz um biogás que contém entre 0,3 a 2% de H₂S, observando-se também a presença de traços de nitrogênio e cerca de 0,8 a 4% de hidrogênio, Salomon (2007). Dependendo da aplicação, como no caso dos motores de combustão interna e turbinas a gás, é recomendável a purificação do biogás removendo o H₂S, CO₂, e a umidade. O H₂S e a Umidade devem ser reduzidas a praticamente zero, já o dióxido de carbono pode estar presente com teores máximos de 6-8%. Reduções para teores menores implicam em custos elevados que, muitas vezes, não compensam.

Muitas empresas atualmente estão especializando-se neste assunto. Para tal, já são comerciáveis sistemas de filtragem, e tratamento de biogás, como é o caso da ENIPLAN, que está presente no Brasil, (São Paulo SP, Belo Horizonte, MG) e na Itália, (Milão).

Existem várias formas de purificação e esta é feita em função da aplicação, sendo o uso doméstico, termoelétrico e automotivo as finalidades com maior demanda do biogás.

Para o uso automotivo, o processo de depuração elevada, para a obtenção de Biometano de acordo com as normas EUROPÉIAS (CH₄ ≥ 97%; CO₂ ≤ 2%). As fases características do processo (patente Brasileira e Européia) consistem em:

- Dessulfurização
- Pressurização em média pressão
- Lavagem com água sob pressão
- Eliminação de hidrocarbonetos superiores
- Depuração e desidratação final
- Compressão em alta pressão (200 bar)
- Estocagem, distribuição e abastecimento através de “dispensers”

Para uso em termoelétricas e ou uso doméstico, o processo utilizado é o chamado depuração média, para obtenção de biogás para uso em motores estacionários ou turbinas (geração de energia elétrica: gás isento de xilossanos, HCl, HF, conteúdo reduzido de compostos de enxofre, isento de pó). As Fases características do processo são:

- ∇ Resfriamento em trocadores de água gelada
- ∇ Filtração com carvão ativo
- ∇ Filtração final

Salomon, em 2007, descreveu as práticas mais utilizadas na purificação do biogás, muitas delas sem a aplicação de tecnologias complexas e fáceis de serem adaptadas em aplicações rurais. Essas técnicas são descritas a seguir:

3.4.1. Remoção de Umidade

Pode ser feita com glicóis, com sílica gel, refrigeração, etc, dependendo da utilização final do gás será estabelecido o grau de umidade aceitável.

3.4.2. Remoção de Dióxido de Carbono (CO₂)

Existe uma variedade de processos de remoção do CO₂ presente no gás natural utilizado pelas indústrias petroquímicas. Diferentes mecanismos conseguem separar alguns constituintes do gás, entre eles: absorção física e química, adsorção em uma superfície contínua, separação por membranas, separação criogênica e separação a partir de conversão química (reações químicas), como são apresentados a seguir:

a) Absorção Física

O método de absorção físico/química para lavagem do biogás é comumente aplicado e efetivo até mesmo para baixas produções de biogás. A facilidade e o baixo custo deste método envolvem o uso da água pressurizada, como absorvente e pouca infra-estrutura.

O biogás é comprimido e alimentado no sentido ascendente no leito de uma coluna de absorção e água pressurizada é pulverizada em contracorrente ao biogás, do topo. Assim o CO₂ e o H₂S são dissolvidos na água sendo coletados no fundo da torre de absorção. A água é introduzida em anéis com orifícios na parte inferior, de modo produz uma névoa, com alta pressão. A água pode ser recirculada para a primeira lavagem do biogás na torre. Este um dos métodos mais simples de lavagem do biogás.

O método de remoção de CO₂ a partir de lavadores com água é bastante conhecido em plantas de biogás com na Suécia, França e EUA. Os resultados mostram que de 5-10% de CO₂ permanece após a lavagem (WELLINGER et al., 1999).

b) Absorção Química

A absorção química envolve a formação de ligações químicas reversíveis entre o soluto e o solvente. A regeneração do solvente envolve, conseqüentemente, a quebra destas ligações e corresponde a uma entrada de energia relativamente elevada. Solventes químicos geralmente empregados são soluções aquosas de aminas ou soluções de sais alcalinos como hidróxidos de sódio, cálcio ou potássio.

A remoção de CO₂ utilizando carbonato de potássio (K₂CO₃) é o processo mais utilizado na remoção industrial. Tal processo consiste na introdução do gás na base da coluna de absorção enquanto a solução absorvedora, de 20 a 30 % em peso de K₂CO₃ é injetada no topo da coluna. A temperatura de operação é em torno de 110° C, tanto para absorção com para a regeneração. A reação inversa na coluna de regeneração resulta na liberação de CO₂ para atmosfera. A simples redução da pressão ao passar da coluna de absorção para a de regeneração libera parte do CO₂. O restante é retirado através da injeção de vapor no fundo da coluna de regeneração. Esta solução apresenta efeitos corrosivos sendo, portanto necessário selecionar inibidores de corrosão para se poderem construir as colunas de aço carbono.

c) Adsorção sobre uma superfície sólida

O processo de adsorção envolve transferência do soluto do gás à superfície de um material sólido, onde concentram principalmente por forças Van der Waals. Os adsorventes comerciais são geralmente sólidos granular com uma área de superfície grande por unidade de volume. Dependendo do adsorvente utilizado no processo, pode-se remover seletivamente ou simultaneamente o CO₂, H₂S, umidade e outras impurezas do biogás. A purificação do biogás pode também ser feita usando adsorvente como sílica, alumina, carvão ativado ou silicatos Wise (1981). Este processo ocorre em altas temperaturas e pressões. Possui uma boa capacidade de remoção de umidade, projeto simples e fácil de operar. Mas é um processo caro com requerimentos de alta queda de pressão.

d) Separação por membranas

O princípio é que alguns componentes do biogás podem ser transportados através de uma membrana fina (< 1 mm) enquanto outros ficam retidos. O transporte de cada componente acontece por diferença de pressão parcial e pela dependência do componente a permeabilidade do material da membrana. Para o metano com alta pureza a permeabilidade deve ser alta. Uma membrana sólida construída de polímeros de acetato-celulose é de 20 e 60 vezes mais permeável para o CO₂ e H₂S, respectivamente, do que para o CH₄. A pressão requerida pelo processo é de 25-40 bar.

Rautenbach et al., (1987) projetaram uma planta piloto para remover o CO₂ do biogás usando a técnica de separação por membranas. Ele mostrou que membranas de acetato-celulose são mais permeáveis ao CO₂, O₂ e H₂S. A melhor separação ocorreu a uma temperatura de 25°C e uma pressão de 5,50 bar.

O fluxo de gás que atravessa a membrana aumenta proporcionalmente com a diferença de pressão parcial. Assim, quanto maior a diferença de pressão menor é a área requerida da membrana. Entretanto, a pressão máxima que a membrana pode suportar deve ser levada em consideração (GLUB, et al., 1991).

e) Separação Criogênica

O método criogênico de purificação envolve a separação dos componentes do gás por condensação e destilação fracionária a baixas temperaturas. Este processo tem a vantagem de recuperar o componente puro em forma de líquido e, convencionalmente, transportá-lo. Mas, possui duas desvantagens: alto custo de investimento e operação e baixa eficiência térmica devido a variação de fluxo. Neste processo o biogás é comprimido a cerca de 80 bar. O compressor utilizado é de múltiplos estágios com *intercooler*. O biogás é refrigerado por chillers e trocadores de calor acima de -45°C, condensando o CO₂ que é removido e separado. Após, o CO₂ é processado para recuperar o metano que é reciclado para a entrada de gás. O processo obtém 97% de metano puro (HAGEN et al., 2001).

f) Método de conversão química

O método químico de conversão pode ser utilizado para alcançar altas purezas no biogás. Reduz as concentrações indesejáveis de alguns componentes do biogás em baixíssimos níveis. Geralmente o processo químico de conversão é usado após a remoção foi realizada por outros métodos. Um destes processos é a metanação (methanation), em que o

CO₂ e H₂ são convertidos cataliticamente em metano e água. O processo químico de conversão é extremamente caro e não é recomendável, na maioria de aplicações do biogás (GLUB *et al.*, 1991). Há exigência de uma grande quantidade de hidrogênio puro fazendo com que este processo seja também o processo geralmente inviável.

3.4.3. Remoção de H₂S

O ácido sulfídrico (H₂S) está sempre presente no biogás em diversas concentrações. Ele deve ser removido, pois pode causar corrosão no compressor, nos tanques de armazenamento e nos motores em geral Wellinger, et al. (1999). O H₂S é corrosivo e tóxico, bem como, causa danos ao ambiente, pois durante a combustão é convertido em dióxido de enxofre. Também pode afetar o processo de digestão anaeróbia por inibição. Os principais processos de remoção de H₂S utilizados podem ser divididos em duas categorias gerais: processo seco de oxidação e processos de oxidação na fase líquida.

a) Processos de Oxidação a seco (Dry oxidation process)

Estes processos são usados para remover o H₂S do biogás pela conversão para enxofre ou óxidos de enxofre. É utilizado quando o teor de enxofre no gás é relativamente baixo e requer alta pureza. Alguns destes métodos são descritos abaixo:

a.1) Introdução de oxigênio /ar no sistema de biogás

Uma pequena quantidade de oxigênio (2-6%) é introduzida no sistema de biogás usando compressor. Em consequência, o sulfeto no biogás é oxidado em enxofre reduzindo a concentração do H₂S. A reação que ocorre é a apresentada na seguinte equação:



Este processo tem um baixo custo de investimento e operação e é relativamente simples. Não são necessários produtos químicos nem equipamentos especiais.

Dependendo da temperatura, do tempo de reação e local onde o ar é adicionado, a concentração do H₂S é reduzida em até 95%, menos do que 50 ppm. Entretanto deve-se ficar atento a quantidade de ar no biogás, que pode ser explosivo em uma escala de 6 - 12%, dependendo da quantidade de metano no biogás (WELLINGER, et al., 1999).

a.2) Adsorção utilizando óxidos de ferro

O H₂S reage com os hidróxidos e óxidos de ferro para formar sulfeto de ferro. O biogás passa através de pellets de óxidos de ferro e remove o H₂S. Quando estes pellets são completamente recobertos por enxofre eles são removidos para regeneração do enxofre. É um método simples, mas durante a regeneração ocorre perda de calor. Este processo é sensível á presença de água no biogás. Pequenos pedaços de madeira cobertos com óxidos de ferro também são utilizados, pois possuem uma ampla superfície de contato.

Este processo também pode ser feito com carvão ativado. O carvão também age como um catalisador, Hagen, et al. (2001). Um dos principais parâmetros para remoção do odor é a área superficial do sólido adsorvente. Outros sólidos também são utilizados, mas com menor frequência, são eles: alumina, bauxita, sílica gel e o carvão vegetal.

Esses materiais são menos utilizados devido a sua regeneração que é problemática e também está ligada a absorção de água que reduz a eficiência de adsorção. Podem ser construídos leitos rasos com alta vazão de gás que podem ser utilizados até um ano e meio antes de ser trocados. São utilizadas velocidades superficiais de 0,13 a 0,18 m/s para se controlar o odor. A temperatura do efluente não pode ultrapassar 52 °C e a umidade relativa deve ser abaixo de 50%, porque nas faixas superiores a estas os gases não são facilmente absorvidos. O carvão após sua vida útil pode ser reativado, pelo próprio fornecedor, em processos em processos termoquímicos a temperaturas na faixa de 600°C.

b) Processos de oxidação na fase líquida

Estes processos são utilizados em tratamento de gases onde a concentração de H₂S é relativamente baixa. São eles: processo de absorção física e processo de absorção química.

b.1) Processo de absorção física

Neste processo o H₂S pode ser absorvido por um solvente, que pode ser a água. O consumo de água é relativamente alto para a quantidade pequena de H₂S absorvido. Para melhorar o processo algumas substâncias químicas podem ser adicionadas a água como o NaOH. Os subprodutos formados são sulfetos ou hidrossulfetos de sódio que não podem ser recuperados e devem ser tratados para sua disposição final.

b.2) Processo de absorção química

A absorção química do H₂S pode ser feita com soluções de sais de ferro, tais como o cloreto de ferro. Este método é altamente eficaz na redução de altos níveis de H₂S. Os produtos formados são precipitados insolúveis. FeCl₃ pode ser diretamente adicionado no digestor. Estes métodos de remoção de H₂S são mais apropriados para biodigestores anaeróbicos de pequeno porte, mas todos os outros processos são economicamente viáveis em plantas de grande escala. Por este método a concentração final de H₂S chega em torno de 10 ppm.

3.4.4. Remoção de Partículas

Pelo fato da eficiência de retenção dos lavadores ser proporcional ao consumo de energia utilizada na sua operação, algumas unidades que trabalham com baixa perda de pressão no fluxo de gases são menos eficientes do que unidades que operam com perdas de pressão maiores. Os tipos mais comuns de lavadores são:

a) Lavadores Tipo Torre

Eficiente na coleta de particulados. As torres basicamente possuem uma grande superfície de contato e são projetadas para absorção de gases. Funcionam com baixa perda de pressão. Seu funcionamento é o seguinte: o efluente gasoso entra por uma abertura na parte inferior do equipamento e escoar na direção do topo do lavador. A solução é atomizada sobre a superfície de contato e drenada por gravidade para ser recirculada, purificada parcialmente pela separação por sedimentação que ocorre no fundo do lavador. Quanto mais profunda a superfície de contato maior o tempo de contato (tempo de residência) entre o gás e o líquido aumentando sua eficiência. A velocidade do gás ideal é geralmente entre 0,6 – 1,2 m/s e o tamanho das gotas abaixo de 0,1 mm.

b) Lavadores centrífugos

O aumento da velocidade relativa entre as gotículas de líquido e a corrente gasosa, chamada de centrifugação do gás pode elevar a eficiência dos lavadores. O gás pode entrar

tangencialmente no lavador e possível também colocar em seu interior uma série de aletas que promovam a movimentação em rotação do gás, fazendo com que ocorra esse efeito de centrifugação. As gotículas são bem menores nos lavadores centrífugos do que nas torres, podendo ocorrer a evaporação da água dentro do lavador. Para que não ocorra este problema costuma-se saturar os gases de umidade antes da sua entrada no lavador.

c) Lavadores Venturi

Empregados na absorção de gases e remoção de partículas. Caracteriza-se por uma grande perda de pressão no gás aumentando assim o custo operacional do Venturi em relação aos outros lavadores. O gás a ser tratado entra pela seção convergente do Venturi, e passa pela garganta, onde o fluxo de gás recebe um jato de água que se desintegra formando gotículas muito pequenas. Se o gás nesta região for saturado ou supersaturado de umidade, haverá condensação sobre as partículas na região de maior pressão do difusor aumentando a eficiência. A pressão volta a subir após a garganta, no difusor, mas não atinge o valor inicial.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Implantação de um Sistema Integrado de Biodigestores Modelo Indiano

O modelo indiano foi escolhido por se adequar às condições climáticas do local e pela produção contínua de biogás. Não foi encontrado nenhum registro de biodigestores instalados em Angola, nem de estudos em andamento sobre tal intenção.

A construção do Biodigestor modelo indiano não apresenta grandes dificuldades, necessitando apenas de um pedreiro experiente devido às suas particularidades na construção, e com a disponibilidade total, do material a ser utilizado, no mercado interno Angolano. Esta foi a razão da escolha para a implementação do projeto na fazenda Menga.

A tabela 3, no capítulo 2, mostrou o material utilizado na construção de um Biodigestor tipo indiano que foi pesquisado e encontrado disponível, nas lojas da capital de Angola. O modelo indiano, por sua vez, utiliza um gasômetro. Este precisa ser submetido a tratamento contra oxidação, quando construído por chapas de aço carbono e depende da qualidade e exigência, mas, existem metalúrgicas disponíveis na região.

O modelo Indiano possui vantagem em relação ao modelo Chinês, por se adequar ao tipo de solo encontrado na propriedade rural em estudo. O modelo indiano não necessita estabelecer medidas fixas entre o diâmetro e a profundidade do aparelho, bastando que se observe a relação de capacidade do tanque digester e o gasômetro, ao contrário do modelo chinês. Este último, não se coaduna com terrenos pedregosos ou encharcados.

Alguns cuidados devem ser levado em conta com relação à distância de instalação de um biodigestor modelo indiano. Esta deve se localizar a uma distância máxima do ponto de consumo na ordem de 100 m, em virtude de operar a baixa pressão.

Os órgãos governamentais, o governo local de áreas afins e a própria sociedade empresarial local, tem como prioridade a criação de condições básicas para a disseminação de técnicas que podem minimizar ou mesmo acabar com o mal que os dejetos podem trazer, caso não sejam tratados devidamente ou utilizados para outros fins. Este é o objeto desta dissertação. As universidades devem abrir espaço para pesquisa e desenvolvimento de estudos com uma incidência local, de forma a desenvolver pesquisas sobre a tecnologia dos biodigestores, podendo contribuir para a disseminação e manejo dos mesmos.

4.2. Dimensionamento dos Biodigestores na Propriedade Menga

Pelas características da região-alvo e tendo-se comparado os modelos de biodigestores possíveis de serem aplicados neste local, no que diz respeito a aspectos como: dificuldade técnica de construção e operação, custos de construção, forma de abastecimento (batelada, contínuo ou semi-contínuo) e resultados práticos de cada modelo (produção de biogás e de biofertilizante), optou-se por eleger o biodigestor Indiano como o digestor anaeróbico a ser projetado para ser implantado nesta Fazenda de Icolo Bengo, na província do Bengo, em Angola.

Assim sendo, foram abordados apenas os aspectos referentes à implantação do biodigestor modelo indiano, ficando a cargo de o produtor rural realizar um estudo das atividades complementares que melhor se adapte para compor o biosistema integrado caso faça opção por este modelo.

4.2.1. O Espaço Físico

Na fazenda Menga, situada a 15Km do município de Icolo Bengo, não existe distribuição de energia elétrica disponível, para empreendimentos, neste município. Todos os Projetos desta natureza estão sendo implantados com sistemas próprios de energia elétrica. O uso de grupos geradores funcionando com diesel são as alternativas mais usadas. A fazenda Menga encontra-se em fase de construção. Para uma primeira fase desta atividade, uma área de mais de 10 hectares foi destinada, à criação de Suínos. Uma área adjacente foi destinada a produção de hortaliças. O projeto pretende ser ampliado e, a medida que se for concluindo cada fase e esta entrar em funcionamento, novas fases irão sendo implementadas. Para a primeira fase, encontram-se em construção Baías para Suínos correspondentes a todas as etapas, com os seguintes componentes:

- √ - 500 m² de área para maternidade dividida em 5 salas;
- √ - 600m² de área para creche dividida em 7 salas;
- √ - 800m² de área para crescimento dividido em 16 salas;
- √ - 600m² de área para Terminação dividida em 8 salas;
- √ - 600m² de área para pré-cobrição e Gestação (dividido em boches individuais);
- √ - Um matadouro com capacidade de 100 cabeças por dia;
- √ - Quatro residências (Uma de três cômodos e três de dois cômodos);

- v - Hospedaria com 10 quartos dois banheiros (masculino e feminino), e 5 suítes;
- v - Refeitório com capacidade de 50 pessoas;

4.2.2. Demanda Energética

A demanda energética, da propriedade é apresentada a seguir, fruto de cálculos feitos de acordo os equipamentos a serem utilizados na mesma, e em função dos objetivos destas, das divisões físicas que possui sua localização e tipo de instalação a ser utilizada. Todos estes fatores fizeram com que os valores de demanda fossem altos, para serem completamente suprida pelo sistema biodigestor - turbina biogás, desta forma torna o projeto como um grande desafio. A distribuição da carga elétrica na Fazenda Menga é mostrada na tabela 12.

Tabela 12. Distribuição da Carga Elétrica na Fazenda MENGA

Setor da Propriedade	Potência Elétrica Instalada em KWh	Percentual da Carga na Propriedade em %
Residências	36.0	27.7
Suínos	12	9.2
Ração	18.0	13.8
Matadouro	17.0	13.1
Frigorífico	9.0	6.9
Refeitório	20.0	15.4
Iluminação	8.0	6.2
Sistema de elevação de água	10.0	7.7
TOTAL	130	100

Fonte: <http://www.natureba.com.br/energia-eletrodomesticos.htm> e bibliografia disponível

4.2.3. Poder Calorífico do Biogás

O poder calorífico depende fundamentalmente das proporções de metano e gás carbônico presentes no biogás, os valores variam de acordo as características de estudos realizados, na bibliografia consultada, sendo que na maioria dos autores e estudiosos sobre o assunto adotam o valor de 6.5 kWh/ m³, para o biogás bruto. Este foi o valor adotado para os cálculos do presente trabalho.

4.2.4. Dimensionamento do Biodigestor Modelo indiano

A carga elétrica encontrada foi de 130KWh. Com esta demanda a turbina a gás deve ser superdimensionada de forma fornecer uma capacidade maior que a atual, para que possa responder por demandas futuras, quando da ampliação do projeto em suas diferentes fases.

Com o poder calorífico de 6.5 kWh/m³, Souza (2004) o que significa que para gerar os 130KWh será necessário gerar 20 m³/h de biogás.

Para o cálculo do volume de gás produzido, será considerado os valores constantes da tabela 13, onde estão indicadas as quantidades de dejetos que cada suíno é capaz de gerar nas suas diferentes fases de criação.

Tabela 13 – Produção média de dejetos nas diferentes fases produtivas dos suínos

Categorias	Esterco kg/dia	Esterco + Urina Kg/dia	Dejetos líquidos (l/dia)
Suínos (25 a 100 kg)	2,30	4,90	7,00
Porca gestação	3,60	11,00	16,00
Porca lactação + leitões	6,40	18,00	27,00
Cachaço	3,00	6,00	9,00
Leitões na creche	0,35	0,95	1,40
Matadouro	3,2 (*)	-	-

Fonte: Adaptação de Oliveira, 1993

(*) A literatura considera uma quantidade de dejetos de 5-9% do peso do suíno de abate.

No gráfico da figura 6 é mostrada uma relação entre o peso do suíno e a quantidade de dejetos produzidos por dia.

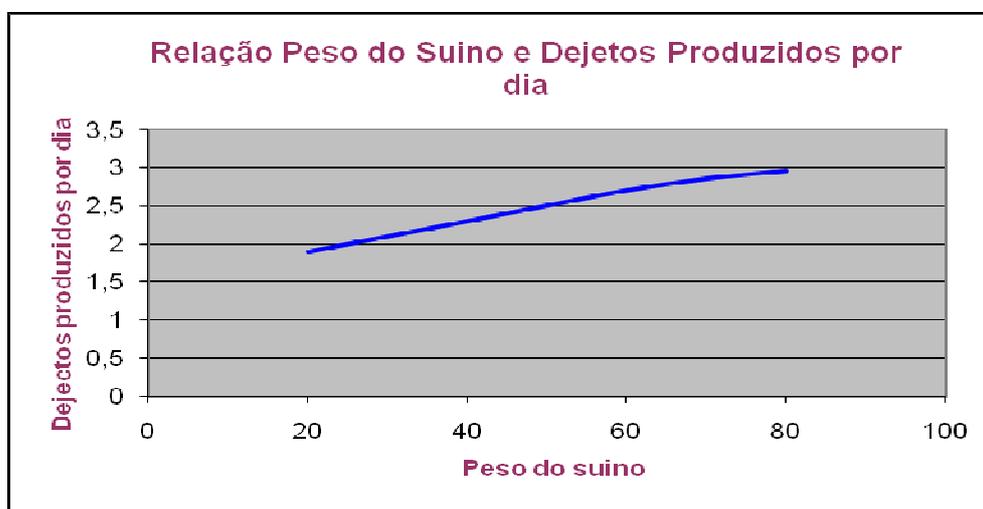


Figura 6. Relação do Peso do suíno e os dejetos produzidos por dia.

Consideraram-se apenas suínos com peso entre 25 a 100 kg, como indicados na tabela 14, assim como, a capacidade média de produção de esterco por suíno de 2,49 kg/dia, OLIVEIRA (1993). Usa-se a faixa de 25 e 100 kg, pois, os recém-nascidos e desmamados, com menos de 5 kg, produzem muito pouco dejetos, que sofrem fermentações indesejáveis, rapidamente. Leitões entre 5 kg e 20 kg, produzem menos dejetos, que ficam como reserva para períodos de menor produção dos adultos.

O matadouro produz uma quantidade de dejetos diário, de 5-9% do peso de um suíno de abate. No abate, alguns órgãos internos são vendidos e outros usados como fonte protéica para fabricação de ração animal ou descartados. Optou-se por se usar o valor mínimo de 5%, do peso de um suíno de abate, como a quantidade de dejetos que o matadouro fornecerá diariamente por cada suíno abatido, equivalendo cerca de 3,2 kg/dia. O matadouro terá uma produção limitada de 100 cabeças/dia, podendo fornecer uma quantidade limitada de biomassa. Desta forma o dimensionamento do Biodigestor será feita em função do rebanho e posteriormente adicionado a quantidade fornecida pelo matadouro.

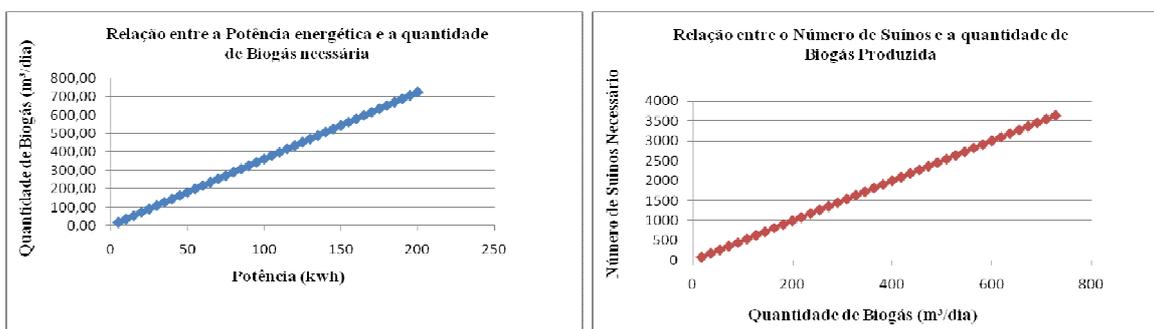


Figura 7. Relação entre o biogás produzido e número de suínos necessário.

Para gerar 130 kWh, considerando o poder calorífico de 6,5 kWh/ m³ a quantidade de biogás necessária é de 20 m³/hora. Cada 2,49 kg/dia de dejetos produzido por um suíno, é capaz de produzir uma quantidade de biogás equivalente á 0,2 m³/dia, o que quer dizer, para se produzir a quantidade de 20 m³/hora (figura 7) é necessária possuir uma quantidade de 2400 suínos o equivalente á 6000 kg/dia de dejetos.

A tabela 14 mostra os elementos dimensionais do sistema integrado do projeto.

Tabela 14. Dados necessários para o dimensionamento dos Biodigestores

Carga Elétrica	130KWh
Demanda de biogás	20 m ³ /h
Produção de Dejetos/Cabeça	2,49 kg/dia
Produção de biogás/Cabeça	0,2 m ³ /dia
Quantidade de suínos	2400 cabeças
Quantidade de débitos/dia	6000 kg/dia
Quantidade de dejetos fornecidos pelo matadouro/dia	320 kg/dia
Total de dejetos por dia	6320 kg/dia
Fator de Relação Volume do Biodigestor/Volume de Biogás	1.5
Volume de Biogás	508 m ³ /dia
Volume de Biodigestor (1,5 * 508)	762 m ³

A partir da análise dos valores constantes da Tabela 14, pode-se fazer o dimensionamento do biodigestor. O modelo a ser dimensionado é o Indiano, representado na figura 8 na sua forma tridimensional e o seu respectivo corte.

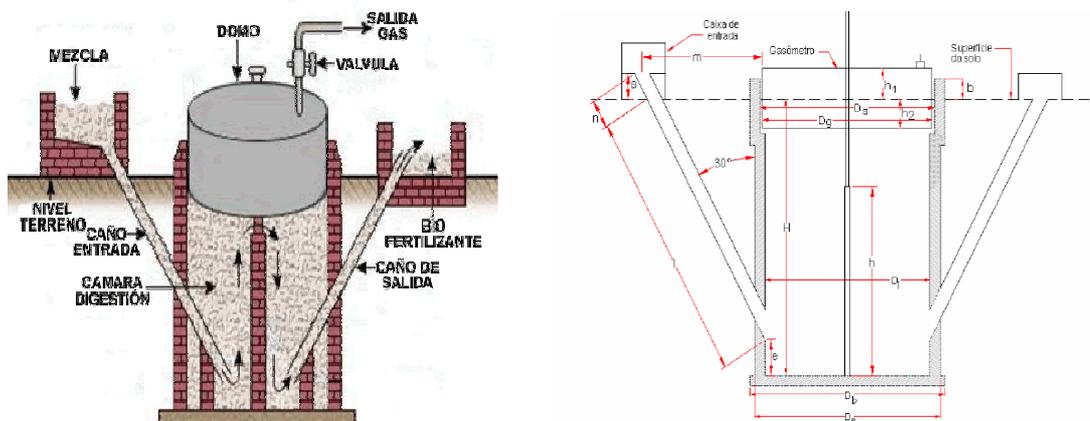


Figura 8 – Biodigestor Proposto - Modelo Indiano

As diversas partes e elementos representativos do Biodigestor Indiano, da figura 8, são definidos a seguir:

H → Altura do nível do substrato → Altura da parede do biodigestor

h → Altura da parede divisória nível do substrato

h_1 → Altura ociosa do gasômetro n → Comprimento do tubo de PVC

h_2 → Altura útil do gasômetro acima da superfície do solo

D_i → Diâmetro interno do biodigestor → Altura do posicionamento dos

D_g → Diâmetro do gasômetro tubos de entrada e saída

d_B → Diâmetro da base → Distância entre a parede do

D_e → Diâmetro externo da parede inferior gasômetro e o meio da caixa de entrada

D_s → Diâmetro interno da parede superior l → Comprimento do tubo de PVC

a → Altura do fundo da caixa de entrada até a superfície do solo

A literatura fornece modelos de dimensionamentos de biodigestores, existindo inclusive, estudos que propõe um software que dimensiona os biodigestores em função das características locais de cada região, Portes e Florentino (2006). De acordo com Ortolani et al., (1991), para o dimensionamento dos biodigestores, conhecendo-se o volume de gás necessário, é possível se calcular o volume do biodigestor utilizando a fórmula $V = kB$, onde

k é fator de rendimento que varia entre ($0.7 \leq k \leq 4.0$) e, conseqüentemente, calcular o diâmetro interno (D_i) e a Altura (H) satisfazendo-se as seguintes restrições:

$$V_b = (\pi \cdot D_i^2 \cdot H/4) \geq 1,1 \cdot V \quad (2)$$

$$0,6 \leq (D_i/H) \leq 1,0 \quad (3)$$

É importante observar que esta faixa entre 0,6 e 1,0 representa uma maior eficiência na fermentação e conseqüentemente uma melhor produção de biogás.

$$3,0 \leq H \leq 6,0 \quad (4)$$

É conveniente se considerar a dificuldade na escavação, não permitindo que a altura do biodigestor atinja um valor muito alto. Evita-se este problema aproximando a relação D_i/H de 1,0 para os grandes biodigestores. Para biodigestores de menores capacidades, aproxima-se a relação D_i/H de 0,6 já que a altura não dificulta a escavação e também para impedir que o biodigestor sofra influência das variações climáticas, por estar mais próximo da superfície do solo.

$$1,8 \leq D_i \leq 6,0 \quad (5)$$

O diâmetro interno fica definido nessa faixa entre 1,8 e 6,0 devido ao intervalo adotado para altura (H).

Encontrado os valores de D_i e H pode-se, então, determinar os demais parâmetros mostrados na figura 1 e, posteriormente, para os cálculos para lista de materiais, de acordo com as equações:

$$D_g = D_i + 0,10 \quad (6) \quad V_g = V_1 + V_2 \quad (7)$$

$$V_1 = (\pi \cdot D_g^2 \cdot h_1/4) \quad (8) \quad V_2 = (\pi \cdot D_g^2 \cdot h_2/4) \quad (9)$$

$$h = H - h_2 \quad (10) \quad h \geq 2 \cdot H/3 \quad (11)$$

$$V_p = h \cdot D_i \cdot e \quad (12) \quad D_s = D_g + 0,10 \quad (13)$$

$$V_e = V/n \quad (14) \quad D_e = D_i + 2 \cdot e \quad (15)$$

$$D_b = D_e + 0,20 \quad (16)$$

Onde,

V_g = volume do gasômetro (m^3);

V_1 = volume entre a tampa do gasômetro e o nível da mistura do biodigestor (m^3);

V_2 = volume útil do gasômetro (m^3);

$e = 0,14$ m que é a espessura de um tijolo revestido;

V_e = volume útil da caixa de entrada (m^3);

n = período de retenção (número de dias);

V_p = volume da parede divisória (m^3);

Segundo Barrera (1993) deve existir uma folga de 0,10 m entre o diâmetro interno (D_i) e o diâmetro do gasômetro (D_g) para evitar a saída de bolhas de biogás entre a parede interna do biodigestor e parede externa do gasômetro.

Os seguintes cuidados devem ser tomados no dimensionamento de biodigestores, Ortolani, et al. (1991):

a altura ociosa do gasômetro (h_1) deverá ter seu valor igual ou superior a 0,15m;

a altura entre o solo e o fundo da caixa de entrada, deve ser de $a = 0,50$ m, pois este valor tem demonstrado ser satisfatório para reabastecimento;

a altura da parede do biodigestor acima do nível do substrato (b), depende da pressão máxima p , desejada, sendo esse valor numericamente igual ao da pressão, portanto $b = p = 0,15$ m.c.a;

os tubos de entrada e saída devem ter um bom posicionamento para garantir uma boa circulação no fundo do biodigestor por ocasião do reabastecimento devendo ser retos, com as extremidades inferiores seccionadas tangencialmente à parede, a uma altura $e = 0,30$ m do fundo, com inclinação em torno de 30 graus em relação à parede, e com diâmetro que possibilite livre fluxo do substrato. Não deve haver regiões de estagnação da solução da biomassa no fundo do biodigestor.

Os valores e dimensões calculados para o Biodigestor Indiano do presente trabalho são mostrados na Tabela 15, onde é proposto a construção de 10 Biodigestores em série, possuindo a capacidade de produção de biogás de 75 m^3 /dia. Numa primeira fase não estarão todos os biodigestores em funcionamento, entrarão em funcionamento de acordo a demanda do biogás e a disponibilidade de dejetos.

Tabela 15. Valores do Dimensionamento do Biodigestor Modelo Indiano.

Número de Biodigestores Propostos	10
Capacidade de cada Biodigestor (m ³ /dia)	75
Biodigestor Modelo Indiano	
Vb - Volume do biodigestor (m ³)	117,8
H - Altura do nível do substrato (m)	6,0
Di - Diâmetro interno (Biodigestor) (m)	5,0
Dg - Diâmetro do gasómetro (m)	5,1
h2 - Altura útil do gasómetro (m)	2,0
h1 - Altura ociosa do gasómetro (m)	1,8
V1 - Volume existente entre a tampa do gasómetro e o nível da mistura do biodigestor (m ³)	36,8
V2 - Volume útil do gasómetro (m ³)	40,8
Vg - Volume do gasómetro (m ³)	77,6
Vp - Volume da parede divisória (m ³)	2,3
h - Altura da parede divisória (m)	4,0
De - Diâmetro externo da parede inferior (m)	5,5
Db - Diâmetro da base (m)	5,7
Ds - Diâmetro Interno da parede superior (m)	5,2
a - Altura do fundo da caixa de entrada (m)	0,5
e - Altura do posicionamento dos tubos de entrada e saída (m)	0,3
m - Distância entre a parede do gasómetro e o meio da caixa de entrada $f(30^\circ, e, H, h1)$ em (m)	3,4

A produção de dejetos tende a crescer à medida que o tempo vai passar, tanto no rebanho como no matadouro, desta forma há a necessidade de se construir os biodigestores de uma forma seriada para garantir a continuidade do uso de todos os dejetos produzidos.

O fluxograma na figura 9 mostra com detalhes a instalação dos biodigestores, e as respectivas linhas de gás, biofertilizante, e da biomassa suína. Os detalhes de construção e orçamentos do material para o biodigestor encontram-se no Anexo 1.

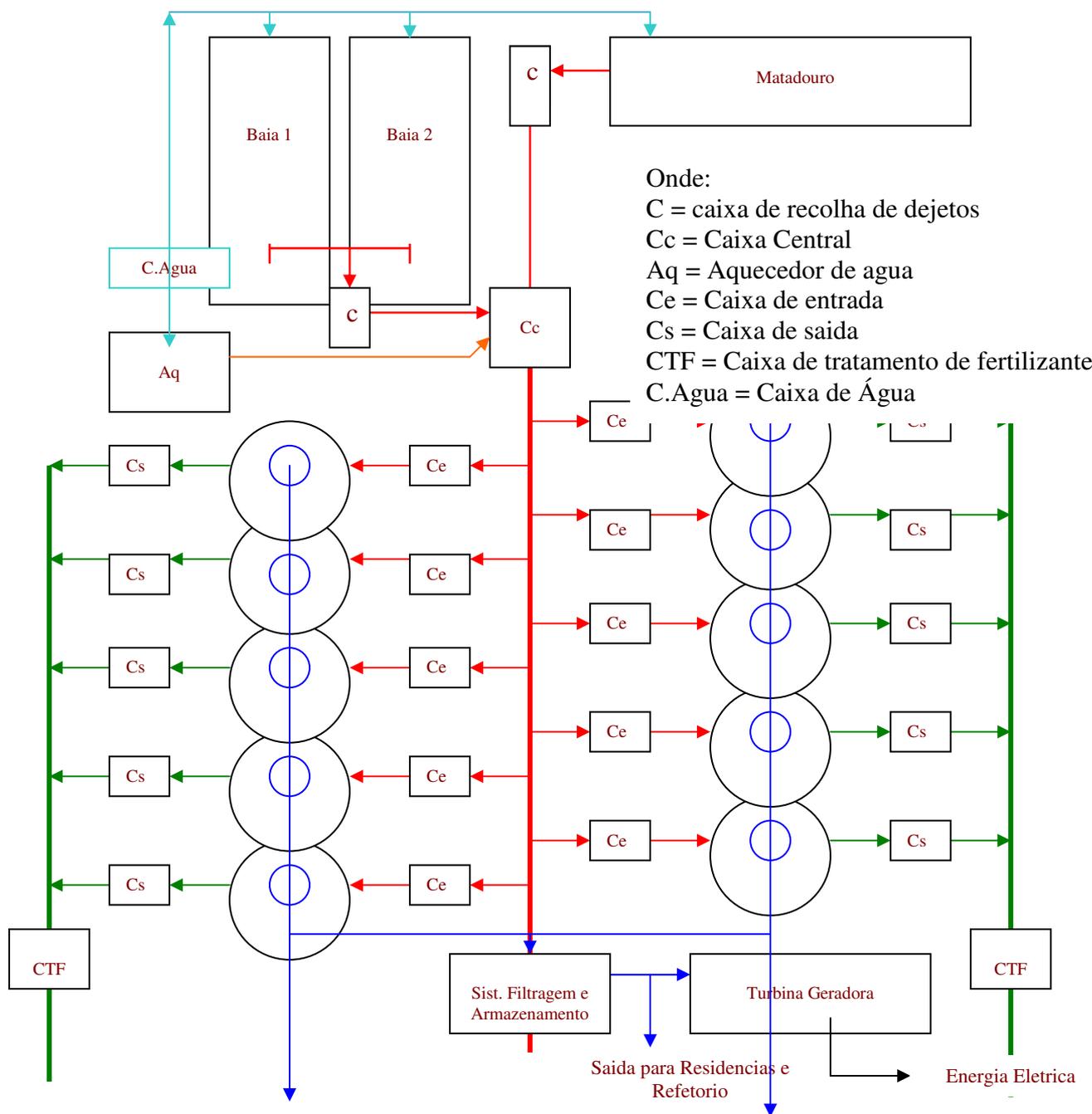


Figura 9. Diagrama das Instalações dos Biodigestores e Utilidades na Fazenda Menga.

4.3. Metodologia de Recolhimento dos Dejetos

A forma de coleta dos dejetos determinará o rendimento em produção de biogás, conforme verificado em estudo realizado por Lucas Junior (1994), o qual estudou o desempenho do estrume de suíno, coletado sob diversas condições.

Fresco

Quando recolhido diretamente das baias e colocados no biodigestor;

Pré fermentado

Quando recolhido estocado em esterqueiras ficando num período que pode ir até 120 dias;

Seco ao ar

Quando recolhidos e secos ao ar livre;

Lucas Junior, (1994) afirma que, o estrume de suíno, quando fermentado em um biodigestor, sofre reduções nos teores de sólidos voláteis acima de 70%, Mas o tipo de escolha do sistema de recolha, influi na produção de biogás sendo que o sistema de Pré fermentação em esterqueira o que melhor condições de produção de biogás oferece a seguir a este, vem o sistema de secagem ao ar livre e por final a recolha direta que é o sistema de recolha a fresco. Porem o melhor rendimento em produção de biogás foi obtido com teores de inoculo em torno de 15% da matéria seca, no estrume fresco e no seco ao ar.

O sistema a ser implantado, será o de recolha á fresco por se considerar que este é um projeto ambiental, e que seu objetivo, para alem de produzir o biogás, é estimular projetos bioseguros. A geração de biogás é um aproveitamento dos dejetos disponíveis, pela atividade que se vai realizar na fazenda.

4.4. Tempo de Retenção Hidráulica TRH

Cada tipo de dejetos necessita de um determinado tempo para que seja fermentado totalmente dentro da câmara de biodigestão. Este tempo corresponde ao tempo necessário para que toda a carga existente no interior de um biodigestor seja substituída. Assim, conhecendo-se a capacidade e estabelecido o tempo de retenção do biodigestor, fica fácil de determinar a quantidade de dejetos diluídos que deverá ser colocada no sistema diariamente.

$$Cd (L) = \frac{CB (m^3)}{TRH (dias)} * 1000 \quad (17)$$

Onde: Cd = Carga diária;

CB= Capacidade do Biodigestor;

TRH= Tempo de Retenção Hidráulica

A produção de biogás em biodigestores deve ser estimada considerando-se o Tempo de Retenção Hidráulico (TRH). Este tempo é normalmente adotado nos projetos, sendo que as empresas de projetos de Biodigestores no Brasil adotam o tempo de 22 e 30 dias. Mas segundo Barrera (1993), dependendo da finalidade, o tempo de retenção hidráulica, varia de 10 a 20 dias para a produção de biogás, de 50 a 60 dias para a produção de biofertilizante e 30 dias para a produção de biogás e fertilizantes.

Oliveira (1994) usou o modelo de Chen (1983) para gerar curvas de produção específica de biogás, para diferentes diluições dos dejetos de suínos, usando-se como parâmetro os sólidos voláteis (SV) para diferentes TRHs (22 e 30 dias) e com temperatura da biomassa no interior do biodigestor de 20 e 35 °C, conforme mostrado na figura 10.

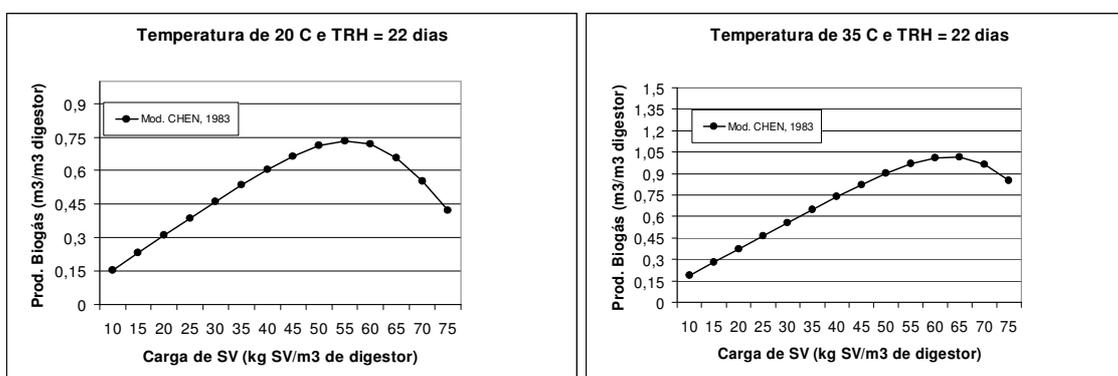


Figura 10 - Produção específica de biogás em função da diluição dos dejetos (SV; kg/m³), para um TRH de 22 dias e temperatura da biomassa de 20 °C e 35°C.

As curvas geradas na figura 10 mostram que o aumento da temperatura da biomassa no interior do biodigestor de 20 °C para 35 °C, provocou um aumento de 30% na produção de biogás, passando de 0,70 para 1 m³ para cada m³ de biomassa existente no biodigestor. Segundo o mesmo autor, um modelo matemático de simulação também determina os limites de alimentação diária do biodigestor que se situa entre 55 e 65 kg de sólidos voláteis por m³ de biomassa para temperaturas da biomassa entre 20 e 35 C° com TRH de 22 dias.

O mesmo estudo observou as mesmas curvas, mas com o tempo de retenção de 30 dias, como pode ser visto na figura 11.

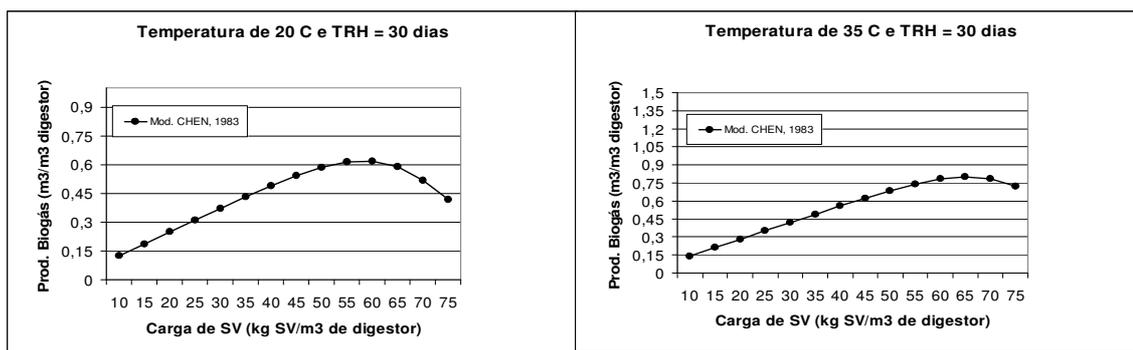


Figura11 - Produção específica de biogás em função da diluição dos dejetos (SV; kg/m³), para um TRH de 30 dias e temperatura da biomassa de 20 °C e 35°C.

A mesma análise foi feita e o aumento na produção de biogás foi de 20%, quando se aumentou de 0,60 para 0,75 m³ para cada m³ de biomassa existente no biodigestor.

Fruto deste estudo pode-se afirmar que para aumentar a produção diária de biogás instalado em um sistema de produção de suínos deve-se aumentar a carga de alimentação diária de sólidos voláteis para níveis entre 55 e 65 kg por m³ de biomassa existente no biodigestor. Por outro lado, deve-se reduzir o Tempo de Retenção Hidráulico (TRH) para 22 dias e aumentar a temperatura da biomassa para 35 °C, recomendando para uma produção mais elevada de biogás e maior eficiência de redução da carga orgânica dos dejetos de suínos e que a temperatura da biomassa no interior do biodigestor seja mantida entre 35 e 40 °C.

4.4.1. Temperatura da mistura

As condições climáticas da região permitem uma produção aceitável de biogás, sem precisar de um preaquecimento, pois a temperatura média na região de Icolo Bengo é 25°C.

4.5. Cuidados na instalação dos biodigestores

O biodigestor será instalado num local bastante arejado, para evitar odores quando estiver sendo carregado.

Para se evitar a entrada de ar e o vazamento de gás, o biodigestor deverá estar bem vedado, seguindo todos os critérios de construção de biodigestores modelo indiano.

A instalação do biodigestor estará o mais próximo possível da fonte produtora de biomassa como se pode observar no diagrama, evitando assim o odor durante o transporte,

perto destes biodigestores uma fonte de água corrente, de bombas alimentadas pela energia gerada, fruto do biogás, esta localizada numa derivação com o sistema de aquecimento.

4.6. Operação e carregamento dos biodigestores

A mistura a ser carregada no Biodigestor, será dosada de 1:2 como definido por Barrera 1993, para o mesmo volume de dejetos será adicionado o dobro em água, formando assim a mistura que será introduzida no Biodigestor.

Alguns cuidados deverão ser tomados ao carregar ou limpar os biodigestores, pois além do gás produzido ser inflamável, as vedações dos mesmos podem ser afetadas após a limpeza. Antes de se fazer a limpeza do biodigestor, deve-se certificar que não há biogás remanescente no biodigestor, para evitar acidentes.

O sistema de carregamento e a descarga de gás serão simultâneos isto evitará a modificação na pressão interna do gás.

4.7. Compressão e Armazenamento de Biogás

O biogás contendo principalmente metano não pode ser facilmente armazenado e nem liquefeito a pressão e temperatura ambiente (temperatura crítica de -82°C e pressão 47,5 bar). A compressão é necessariamente feita com o biogás limpo (isento de H_2S e umidade), os sistemas de armazenamento mais utilizados são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16. Compressão e Armazenamento do Biogás

Pressão	Estocagem	Material
Baixa - (0.38 – 0.414) bar	Selo d'água	Aço
Baixa	Gás "bag"	Plástico, vinil, lona (borracha)
Media - (1.05 – 1.97) bar	Tanques de Propano e butano	Aço
Alta - (200) bar	Cilindros comerciais de gás	Aço

Fonte: Salomon KR, 2007

4.7.1. Medidas de Segurança para Armazenamento e Utilização do Biogás

O principal perigo na utilização do biogás é quanto a explosões, devido a seus componentes quando o metano se mistura com o ar. A literatura recomenda que a concentração de metano seja mantida fora da faixa de 5-15% (em volume) e a de oxigênio inferior a 3-15%. A atenção maior deve se concentrar para não ocorrer a entrada de ar nas etapas de transporte, armazenamento ou tratamento. As principais medidas de segurança para os sistemas com biogás são:

- Evitar vazamentos utilizando materiais adequados para execução dos reatores, armazenamentos e transporte dos gases;
- Instalação de pára-raios;
- Treinamento regular do pessoal que opera no sistema de tratamento;
- Sinalização adequada nas áreas de maior perigo;
- Evitar aumento da temperatura do biogás nas etapas de armazenamento e transporte;
- Instalação de equipamentos corta-chamas na sucção de gases ou em setores em que se prevê a compressão dos gases;
- Os pontos de queima do gás excedente (Flare) se existirem, devem ser instalados longe de vias de circulação, cercados e equipados com dispositivos corta-chamas;
- Devem se prever drenos para a extração de vapores condensados da mistura de gases.
- Deve se fazer um monitoramento da composição do biogás;
- Critérios de segurança e execução feitas por empresas especializadas.
- Respeitar normas relativas a projeto de sistemas de gases combustíveis.

4.8. Análise Econômica da Produção de Energia Elétrica Via Biogás em Suinoculturas

A sociedade em geral ganha com projetos desta natureza. Segundo o Cenbio, (2001), de uma forma geral, a produção de energia elétrica a partir de biogás apresenta as seguintes vantagens:

Para a sociedade:

- Geração de empregos e eliminação ou redução de subempregos;
- Geração descentralizada e próxima aos pontos de carga, a partir de uma fonte renovável que vem sendo tratada como resíduo;
- Colaboração para a viabilidade econômica do saneamento básico.

Para os municípios:

Possibilidade de receita extra, proveniente da energia gerada com biogás e vendida às concessionárias;

Contribuição para a viabilidade econômica do tratamento dos dejetos;

Menor rejeição social das instalações de suínos, uma vez que elas passam a ser gerenciadas de forma melhor, representando um exemplo a ser seguido.

Rios, lagoas e solos livres de contaminações por dejetos e município visto como exemplo no tratamento de dejetos suínos.

Para os criadores e proprietário de suinoculturas:

Redução na quantidade de eletricidade comprada da concessionária;

Possibilidade eventual de venda de eletricidade à rede ou a terceiros como fazendas vizinhas ou residentes ao redor;

Comercialização de fertilizantes e ou a economia na compra de fertilizante.

Para o meio ambiente:

Redução das emissões de metano para a atmosfera, pois este é um importante gás causador do Efeito Estufa. O seu potencial de aquecimento global é 21 vezes maior que o do Dióxido de Carbono (CO₂);

Redução do consumo de combustíveis fósseis, principais responsáveis pelo efeito estufa;

Redução na geração de odor para as vizinhanças, de chorume e de contaminação do lençol freático e, conforme já foi relatado, redução da poluição e contaminação dos solos, rios e lagoas.

4.8.1. Retorno do Investimento

Os custos do projeto estão relacionados ao capital investido na construção e manutenção dos biodigestores, dos grupos geradores de energia elétrica, de todos os sistemas auxiliares de purificação do biogás, compressão e armazenamento, bem como da rede de distribuição e do tratamento do biofertilizante.

Considerando que, em condições ideais de operação e de manutenção, os biodigestores operam em uma propriedade rural durante o ano todo e, conseqüentemente, mantendo a produção de energia elétrica, o tempo de retorno do investimento será função do tempo de

operação do equipamento, o que quer dizer que, quanto menor for o tempo de operação, maior será o custo da energia elétrica (COLDEBELLA et al., 2006).

Na fazenda Menga, o conjunto poderá operar até 24 horas dependendo da demanda e da disponibilidade da rede local e ou a implantação de outro sistema auxiliar de produção de energia elétrica, como um grupo termoeletrico local, que é, também, parte do projeto na sua fase de ampliação, no futuro.

Para efeito de cálculo, se utilizou uma taxa de desconto de 75%, segundo a *Lei sobre os incentivos fiscais e aduaneiros ao investimento privado em Angola*, que é, usualmente, aplicada aos financiamentos do governo nas atividades agropecuária.

Para gastos com operação e manutenção (O&M), foram considerados 4% do investimento total, ao ano, proposto por Souza et al. (2004), e a estimativa de energia da propriedade em função da tarifa em vigor, serão utilizadas para se determinar o tempo de retorno do investimento.

Usando o modelo proposto por SOUZA et al. (2004), representada pelas seguintes equações:

$$TRI = \frac{\ln\left(-\frac{K}{J-K}\right)}{\ln(1+J)} \quad (18)$$

$$k = \frac{A}{CI} - \frac{OM}{100} \quad e \quad A = CI \left(FRC + \frac{OM}{100} \right) \quad (19)$$

O modelo conclui que o tempo de retorno (TRI), depende da taxa de desconto por ano (j) que ronda os 10% para mercados como o Angolano; do custo de investimento no sistema biodigestor e motor (CI) (ver tabela 17); gastos anuais com energia elétrica adquirida na rede (A), valor que ronda os \$ 20.00/MWh; custos com a organização e manutenção (OM), (ver Tabela 17) e do fator de recuperação dado por:

$$FRC = \frac{j \times (1+j)^n}{(1+j)^{n-1} - 1} \quad (20)$$

Onde:

FRC – Fator de recuperação de capital

j – Taxa de desconto (%/ano)

n – Anos para amortização do investimento

Com isto o tempo de retorno em função da tarifa energética utilizada na região é apresentado no gráfico da figura 12.

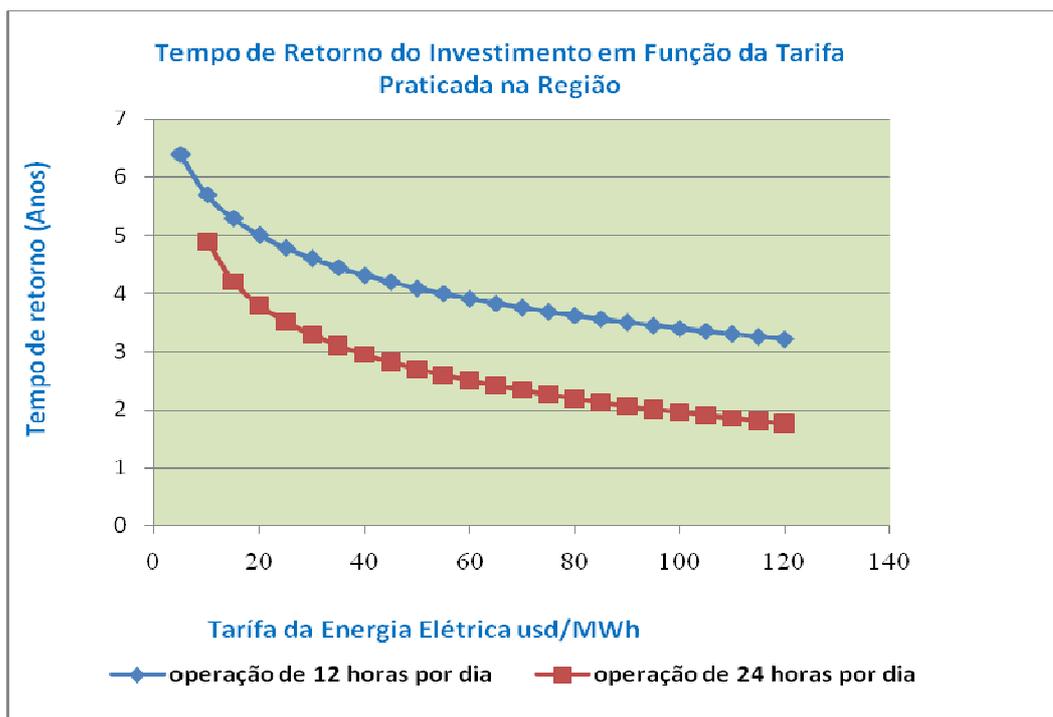


Figura 12. Tempo de retorno do investimento em função da tarifa praticada na região, com o sistema operando em 12 e 24 h.

Pelo gráfico da figura 12 pode-se notar que o tempo de retorno é função da tarifa paga, dependendo ainda pelas horas que o sistema funciona por dia. O tempo de retorno, na figura 12, da operação em 24 horas mostra-se menor em relação ao de 12 horas. Fica claro porque quanto maior for o tempo de trabalho do sistema, menor será o tempo de retorno do investimento segundo Souza et al. (2004), que está de acordo com a teoria e com o estudo até aqui discutidos. Esses resultados são consistentes, porque mostra que, utilizando um outro sistema, como por exemplo, um grupo gerador/diesel, ou, uma rede local de energia elétrica, o sistema turbina/biogás seria por exemplo utilizado segundo um tempo otimizado de forma a responder a demanda energética da localidade. Neste caso o tempo de retorno aumentaria,

conforme pode ser confirmado no gráfico da figura 13, onde é mostrado o sistema com o funcionamento de apenas 4 e 8 horas por dia.

Para não se correr o risco de falta de energia, será considerado um sistema em *stand by*, funcionando com um motor do ciclo diesel, alimentado, em princípio, com óleo diesel, embora o mesmo possa também funcionar com biogás. Assim sendo, será considerado o sistema como parte de um duplo sistema, turbina/biogás e motor/diesel-gerador, onde num sistema de revezamento, dependendo da demanda, fornecem energia á fazenda.

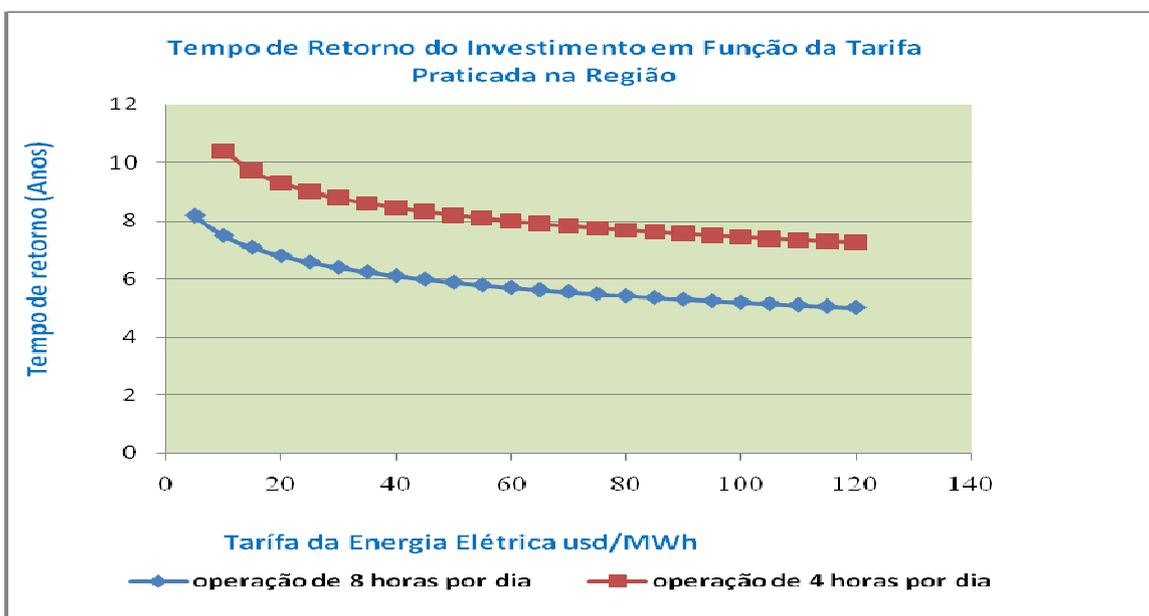


Figura 13. Tempo de retorno do investimento em função da tarifa praticada na região com o sistema funcionando em 8 e 4 horas por dia.

São esperados uma produção de 20 m³/h de biogás. Há necessidade de se aproveitar ao máximo esta produção para se gerar energia.

Fazendo uma combinação entre os dois sistemas, a avaliação econômica resultante é apresentada na Tabela 17.

Os dois sistemas foram simulados de forma a que o sistema Turbina/Biogás e o sistema Motor/diesel-Gerador combinam-se, em três situações de demanda, para cada sistema (Tabela 18).

Tabela 17. Avaliação econômica para os cenários analisados

Sistema Turbina/Biogás		
Gastos	Investimento no Primeiro Ano	Investimento nos anos seguintes (*)
Biodigestores	\$54,000.00	\$0.00
Sistema de Filtragem	\$2,000.00	\$0.00
Gastos com o grupo Gerador	\$10,000.00	\$0.00
Despesas Gerais	\$13,343.00	\$13,843.00
Turbinas/Biogás	\$10,000.00	\$0.00
Impostos	\$506.00	\$506.00
Total	\$90,349.00	\$14,349.00
Sistema Motor/Diesel Gerador Elétrico		
Gastos	Investimento no Primeiro Ano	Investimento nos anos seguintes (*)
Gastos com o grupo gerador	\$10,000.00	\$0.00
Gastos com Combustível/Diesel	\$1,043.00	\$1,043.00
Despesas Gerais	\$500.00	\$500.00
Impostos (25%) + Trat. Dejetos	\$25,506.00	\$25,506.00
Total	\$37,049.00	\$27,049.00

(*) Valor repetido durante os 9 anos subseqüentes, pois o tempo de vida estimado é de 10 anos.

Os dois sistemas foram simulados de forma a que o sistema Turbina/Biogás e o sistema Motor/diesel-Gerador combinam-se, em três situações de demanda, para cada sistema (Tabela 18).

4.8.2. Taxa Interna de Retorno e Valor Presente Líquido

Tabela 18. Resultado das avaliações econômicas

Sistema	Situação1	Situação2	Situação3
Turbina/Biogás	90%	80%	70%
Motor/diesel-Gerador	10%	20%	30%
TIR	61%	39%	19%
VPL	\$ 33,571.08	\$20,316.85	\$7,062.61

TIR – Taxa Interna de Retorno

Para a TIR descrevemos cada alternativa de investimento em termos de custo e receita a ela associada, sendo a taxa que torna equivalente o investimento inicial ao fluxo de caixa subsequente, ou seja, torna nulo o VPL do projeto dentro de um período de tempo estipulado.

VPL – Valor Presente Líquido

Aqui se avaliou as alternativas através de um valor de fluxos de caixa (soma algébrica de valores de receitas e despesas) descontados e reduzidos no instante inicial (zero), segundo uma taxa de juros praticada no mercado que é de 1%, obtendo-se assim o valor atualizado dos custos e receitas de uma alternativa. Nas Três situações encontramos um $VPL \geq 0$, o que indica uma boa viabilidade onde as ações são ordenadas pela magnitude do VPL.

O ordenamento resultante dependeu basicamente da taxa de desconto e da magnitude das necessidades de investimento que determinaram o nível de VPL. Este valor tem como finalidade valorar, em termos de valor presente, o impacto dos eventos futuros associados a um projeto ou alternativa de investimento, ou seja, mede o valor presente dos fluxos de caixa gerados pelo projeto ao longo da sua vida útil. Não existindo restrição de capital argumenta-se que esse critério leva à escolha ótima, pois maximiza o valor da empresa (Samanez, 2002).

Os resultados exibidos na figura 14 mostraram que uma combinação dos dois sistemas resulta num TIR aceitável e otimista rondando os 67% na simulação 1, 40% e 20% na simulação 2 e 3 respectivamente.



Figura 14. Representação gráfica da análise econômica, avaliando o TIR e VPL do Investimento feito.

Para o VPL, apresentou também um cenário otimista e melhor em relação a dependência a 100% da geração via Turbina/Biogás. Os valores de TIR e VPL vão diminuindo a medida que o percentual de participação do sistema turbina biogás vai diminuindo de 90% á 70% na participação no fornecimento de energia.

A política de subsidio existente em Angola faz com que a energia da rede publica seja barata chegando a custar 20 USD/ MWh, associada à taxa de 75% de isenção de imposto para este tipo de projeto, o tempo de retorno é cada vez menor e isto incentiva qualquer investidor.

Se a região possuísse energia suficiente para responder a demanda empresarial, o projeto limitar-se-ia em um projeto ambientalmente viável, sendo economicamente viável apenas a médio e longo prazo. Mas considerando as condições atuais da região e a não existência a curto ou médio prazo, de projetos capazes de responder positivamente no abastecimento de energia na região, e pela não disponibilidade de eletricidade para os grandes projetos com grande demanda, o projeto torna-se viável ambientalmente e economicamente, não sendo necessário esperar por longos anos para se dar andamento no presente projeto.

Outra vantagem, que pode ser adicionada neste item da analise econômica, é o fato do resíduo do produto da biodigestão ser utilizado como fertilizante o que adicionaria mais vantagens financeiras ao economizar na compra de fertilizante e no melhoramento da produção de hortaliças.

Na Tabela 19, Souza et al., (2004) mostram uma comparação entre os custos mínimos e máximos do biogás diante de outras formas alternativas de energia. Pode-se observar, assim, que o biogás já é competitivo em relação à energia eólica e solar e até à geração a diesel. Estas constatações servem de incentivo para se apostar nesta forma limpa e ambientalmente aceitável de se produzir energia elétrica.

Tabela 19. Comparação entre os custos mínimos e máximos do biogás diante de outras formas alternativas de energia.

Sistema	Energia (USD*/MWh)
Biogás	45 a 120
Fotovoltaico	125 a 250
Eólico	32 a 50
Biomassa	25 a 45
Motor Diesel	65 a 200
Micro central Hidrelétrica	15 a 25

Fonte: MME (2005) em Souza *et al.*, 2004

* Tarifa convertida em USD no cambio de 1.8 Rs.

4.9. Tecnologias de Conversão Energética do Biogás

4.9.1. Motor de Combustão Interna Alternativo

Segundo, Salomon (2007), os motores de combustão interna são amplamente usados por poderem operar com diferentes tipos de combustíveis tanto líquidos como gasosos. São máquinas térmicas nas quais a energia química do combustível se transforma em trabalho mecânico, O fluido de trabalho consiste dos produtos da combustão da mistura ar-combustível, e a câmara de combustão e o próprio processo de combustão e estão integrados ao funcionamento geral de motor. O mesmo autor afirma que, estes, representam a tecnologia mais difundida dentre as máquinas térmicas, devido a sua simplicidade, robustez e alta relação potência/peso. Estes acionadores são empregados em larga escala como elementos de propulsão para geração de eletricidade contínua, de *back-up* ou de carga de pico e para acionamento de bombas, compressores ou qualquer outro tipo de carga estacionária. São máquinas simples e robustas. São os equipamentos mais utilizados para a queima do biogás por sua flexibilidade.

Os MCI do tipo alternativo são divididos em motores de ignição por centelha ou Otto e de ignição por compressão ou Diesel. Podem ser de dois ou quatro tempos. Nos motores de ciclo Otto, a mistura ar/combustível é admitida na câmara de combustão e inflamada por meio de uma vela de ignição. Já nos motor Diesel (ciclo Diesel), o ar admitido na câmara de

combustão e comprimido com elevadas taxas de compressão 18/1 a 28/1. O ar é comprimido isotermicamente, alcançando temperaturas de até 840 °C. O combustível é, nesse momento, injetado e inflama-se espontaneamente, nessa temperatura elevada. Para aplicações de geração de eletricidade os motores são divididos em quatro grupos: 1) motor Diesel; 2) motores de ignição por centelhas tradicionais ou a gás (Ciclo Otto); 3) motor duplo combustível e 4) motores gás-Diesel. Os motores Diesel dominam o mercado para potências até 5 MW e para sistemas de emergência ('back-up') e *Stand by*, pois, possuem menor custo de geração, ou seja, os motores de ignição por centelha possuem custos iniciais menores, mas um custo de combustível, em longo prazo, maior (LISS, 1999).

Nos motores do ciclo Otto, do tipo Flex, que usam gasolina, etanol e gás natural, esses são projetados com uma taxa de compressão entre 10/1 e 11/1, para atender a gasolina, pois, esse combustível não pode ser usado com taxas mais elevadas, por causa da detonação. O metano puro requer uma taxa de compressão de 14/1 para oferecer rendimentos máximos e o Gás Natural e o Biogás, em torno de 13,5/1. Por isso, é mais vantajoso se utilizar um motor do Ciclo Diesel e se misturar o Gás Natural e o Biogás ao Diesel, usando-se uma taxa de compressão 18/1.

Usando-se motores do Ciclo Otto, como o Gás Natural possui cerca de 90 % de metano e como o Biogás purificado pode chegar a 92-94% de metano, os motores do ciclo Otto trabalham com rendimentos máximos se suas taxas de compressão forem adaptadas para 13/1-14/1. Outra opção é manter esses motores com suas taxas de compressão originais (10/1) e se utilizar um turbo compressor para elevar a taxa de compressão para atender o Biogás.

As principais características dos grupos geradores são:

- São utilizados para pequenas e médias demandas elétricas, de centenas de kW até dezenas de MW.
- Podem utilizar diversos tipos de combustíveis líquidos ou gasosos tais como óleo diesel, óleo pesado, gás natural, biogás ou ainda uma mistura deles. Isso é bastante vantajoso, pois o sistema torna-se muito flexível.
- A relação energia térmica/energia mecânica é menor que os outros acionadores primários, o que pode ser interessante para coogeração no setor terciário.
- A eficiência dos motores de combustão interna não é tão sensível às condições ambiente locais (temperatura, pressão e umidade) quanto são as turbinas a gás.
- As instalações são modulares e flexíveis, com isto o tempo de construção de uma central é curto e a entrada em operação (start-up) é rápida. Além de serem apropriadas para as condições de partidas e paradas diárias.

- Possui alta relação potência/peso.
- Requerem manutenções mais frequentes.

Um estudo realizado por Lombard et al.(2004), mostrou que a eficiência do motor decresce drasticamente quando o teor de CH₄ é menor que 50%. O custo de manutenção é fixo (até mesmo quando utilizado com cargas parciais), ocorrem perdas auxiliares constantes, quando em cargas parciais, o operador tem que reiniciar manualmente a máquina e o *start up* é muito sensível ao conteúdo do metano.

Atualmente, existem motores de combustão interna que já vêm preparados para queimar o biogás com diferentes teores de metano, dióxido de carbono e ácido sulfídrico. Os conjuntos motor-gerador de energia elétrica representam um importante avanço na geração de energia elétrica limpa e renovável, a partir do biogás. Cada container (12 metros de comprimento) vem equipado com os seguintes itens (BRASMETANO, 2007):

- Motor a Biogás turbo alimentado com intercooler, de fabricação Brasileira,
- Sistema de alimentação e ignição gerenciadas eletronicamente
- Geradores sem escovas,
- Painel de comando manual,
- Unidade de auto-alimentação de biogás de acionamento direto pelo motor,
- Filtros desumidificadores,
- Unidade de aquecimento / controle de temperatura do Biogás, incorporado à Unidade de auto-alimentação.
- Unidade de resfriamento, controle da temperatura do motor,
- Unidade de segurança, composta de válvulas de bloqueio automáticas.

4.9.2. Caldeiras

Algumas considerações devem ser feitas para a combustão direta do gás em caldeiras, a fim de assegurar o funcionamento adequado do sistema. A adaptação desses equipamentos para uso do biogás pode ser realizada com pequenas modificações, buscando a adequação às características do novo combustível, principalmente nos queimadores.

Os níveis de umidade do gás devem ser controlados com a instalação de purgadores e linhas de condensado para impedir danos aos equipamentos e problemas na operação das caldeiras. A vazão de biogás deve ser aumentada com a instalação de uma válvula de controle do combustível mais adequada, uma vez que o biogás possui menor quantidade de metano que

o gás natural, sendo necessária uma maior quantidade do mesmo. A instabilidade da chama, decorrentes da menor concentração de metano e das flutuações na composição do biogás podem ser controladas com a instalação de sensores ultravioletas que monitoram a chama da caldeira impedindo que esta apague ou com o uso de um sistema de combustível auxiliar como backup em situações de variação na chama (USEPA, 2001, e SALOMON,2007).

A corrosão devido à umidade e o ácido sulfídrico presente no biogás é outro problema nas caldeiras que usam este gás combustível, uma vez que compostos de cloro nos gases de exaustão comprometem pré-aquecedores de ar, dutos e outros componentes do equipamento. O revestimento do pré-aquecedor e da chaminé com material anticorrosivo, o controle da temperatura dos gases de exaustão acima do ponto de orvalho e a circulação adequada da água podem reduzir os efeitos corrosivos. (SALOMON,2007).

4.9.3. Motores Stirling

O motor Stirling consiste de um motor alternativo a pistão movido por uma fonte externa de calor. De forma parecida às máquinas de vapor, o ciclo Stirling usa um sistema fechado, onde a expansão de um gás de trabalho é aproveitada para obter potência mecânica. O gás de trabalho utilizado pode ser nitrogênio, hidrogênio, hélio ou ar livre de oxigênio. (PODESER, et al., 2000). As principais vantagens e desvantagens do motor Stirling são:

Eficiência global boa, na faixa dos 30 %.

A eficiência em cargas parciais tem mostrado ser boa.

Baixo nível de ruído e operação segura.

Podem utilizar uma grande variedade de combustíveis.

Possibilidade de coogeração.

Alguns fabricantes prevêem uma vida útil de 25000 horas.

Desvantagens:

Têm sido testadas poucas variedades de combustível.

Até agora as experiências nos testes se concentram em motores de pequenas potências.

Os dados de confiabilidade e vida útil são escassos.

4.9.4. Turbinas á Biogás

As turbinas a gás tem sido mais usadas para queimar biogás nos grandes aterros sanitários, com projetos de 3 a 4 MW no mínimo, USEPA (2002a). A economia na geração de

energia e a eficiência do sistema aumentam de acordo com a escala do projeto, podendo ser uma alternativa mais adequada para grandes plantas de geração.

As eficiências podem ser aumentadas até a 40 % quando são utilizadas plantas de ciclo-combinado, com recuperação do calor perdido. No entanto, esses equipamentos tem eficiências bem reduzidas quando trabalham em carga parcial. Uma vantagem dessas turbinas é a maior resistência à corrosão quando comparadas aos motores de combustão interna, além dos custos mais baixos de operação e de manutenção (USEPA 1996a).

A produção, cada vez maior de Biogás, fez com que já existam muitos fornecedores de turbinas geradoras de energia elétrica utilizando o Biogás como combustível de queima. Em países com maior produção de biogás, principalmente na Europa e America do Norte, China, Brasil e timidamente na África do Sul, existem fabricantes ou representações dos fabricantes, de produtos de marcas já conhecidas neste mercado cada vez mais em crescimento. Os produtos estão disponíveis e podem ser obtidos e escolhidos de acordo as características do local, quantidade de biogás gerado, capacidade necessária em termos de energia elétrica e outras que vão desde o uso doméstico ao industrial.

4.9.4.1. Modelos existentes

Existem fornecedores de turbinas geradoras de energia elétrica que utilizam como combustível o biogás, a ALIBABA, um fornecedor Chinês, presente no Brasil e na Europa esse fornecedor oferece geradores com capacidades que vão desde 1KW até 1100KW, dependendo da necessidade e da capacidade existente de Biogás, pode-se escolher um sistema completo que vai de acordo as necessidades locais.



Figura 15. Sistema Turbina – Gerador, ALIBABA

Outro fornecedor de Turbinas gerador, é a BANCOR, com forte representação no Brasil, comercializa turbinas á gás e que funcionam também com o biogás sem nenhum problema. De acordo a necessidade pode-se escolher o tipo de turbina e a capacidade em função do fornecimento do Biogás.



Figura 16. Sistema Turbina-Gerador BANCOR

4.9.4.2. Características e Especificações

1. Gás Combustível: Biogás
2. Capacidade: 30KW -500kw
3. Painel de controle Eletrônico
4. Eficiência de geração: 25%-39%

4.9.4.3. Capacidade e Manutenção das Turbinas

Potência

A Potência das turbinas varia de 30 kW a 20 MW para motores a Biogás (Ciclo Otto) e de 500 kW a 150 MW para turbinas a Biogás.

Eficiência

Sem coogeração, 30 % a 40 % para motores a gás e de 20 % a 30 % para turbinas a biogás.

Com coogeração, 50 % a 80 % para motores a gás e de 40 % a 90 % para turbinas a Biogás.

Exigências para o biogás

1. Biogás com teor de metano (CH_4) superior a 65% (CH_4)
2. Pressão de gás: 2KPa ~ 6KPa

O biogás deve ser processado com remoção do gás sulfídrico e por desidratação para serem utilizados nos MCI do grupo-gerador. (caso contrário, danificará os cilindros do motor, o plugue de centelha e as outras peças.) A garantia não cobrirá a operação danificada do erro da causa, ou seja, o motor perderá sua garantia de fábrica.

Custos de manutenção

De acordo a finalidade os custos de manutenção variam de 2 á 5% dos investimento.

Custo de Investimento

Para motores e turbinas, os preços variam de 450 USD/kW para cima, podendo-se encontrar micro turbinas geradoras que funcionam com o biogás.

4.10. Micro-Turbinas a gás

As microturbinas são equipamentos mais recentes e que podem ser empregados em instalacoes de pequeno porte onde a produção de biogas nao é em grande escala, tornando-se adequado em instalações com menos de 1 MW de potência, atendendo à demanda de eletricidade da própria instalação.

Existe a possibilidade do uso de grupos desses equipamentos com potências de 30 a 100 kW cada, flexibilizando o uso do gás da maneira mais conveniente de acordo com a necessidade local, sendo assim uma alternativa interessante quando há pequena vazão de gás e os motores de combustão interna ou turbinas a gás de grande porte são inadequados. Após a diminuição considerável da produção local de biogás, as microturbinas podem ser transferidas para outro local sem grandes dificuldades por serem de pequeno porte. Em grandes projetos, onde há biogás que não está sendo consumido, microturbinas podem ser instaladas atendendo esse excedente de energia que está sendo perdido.

A presença de gases com baixo teor de metano não representa um problema pois esses equipamentos funcionam adequadamente com teores acima de 35% de metano no biogás (USEPA, 2002a).

Um dos problemas das microturbinas é a sua baixa eficiência em relação a Motores de Combustão Interna e Turbinas a Gás maiores, sendo seu consumo de combustível 35% maior por kWh produzido (USEPA, 2002a).

A utilização de um gás de baixo poder calorífico (gás de biomassa) em micro turbinas requer duas considerações: a remodelação da micro turbina para queima de um gás pobre , especificamente a câmara de combustão, e, no mínimo, remoção do gás sulfídrico do biogás antes desta queima. Facilidade de instalação e flexibilidade para trabalhar em diversos locais melhorando o rendimento. A maioria destas unidades geradoras usa um recuperador com a finalidade de aproveitar o calor dos gases de exaustão para aquecer o ar da combustão. Sem o recuperador a eficiência global da Micro turbina está entre 15 e 17 % enquanto que, utilizando um recuperador eficiente (~85%), a eficiência pode se duplicar e atingir valores de 33 % (WILLIS; SCOTT, 2000).

Dentre as principais vantagens da utilização de micro turbinas a biogás estão:

Capacidade para operar um gás utilizando baixo conteúdo de metano: $\text{CH}_4 > 35\%$.
Sem reduzir mais a sua eficiência.

Bom comportamento a temperaturas entre -10°C a 45°C .

Boa eficiência 30 a 33 % (baseada no PCI).

Baixas emissões (< 10 ppm de NO_x).

Possibilidade de coogeração.

Excelente modularidade.

Desvantagens:

A eficiência a cargas parciais é baixa.

Limitada experiência de utilização.

4.11. Outras Tecnologias

4.11.1 Células a Combustível

Células a combustível são dispositivos eletroquímicos que convertem diretamente a energia química da mistura combustível/agente oxidante em eletricidade permitindo elevadas eficiências. Processo semelhante ao de uma bateria que é constantemente recarregada

envolvendo dois reagentes (hidrogênio e ar). Atualmente existem quatro tipos de células caracterizadas pelo eletrólito utilizado, são elas:

- 1) Eletrólito polimérico ou membrana de intercâmbio protônico (PEMFC);
- 2) Ácido fosfórico (PAFC);
- 3) Carbonato fundido (MCFC)
- 4) Óxido sólido (SOFC).

As tecnologias estão em diferentes estágios de desenvolvimento ou comercialização. As células a combustível utilizam hidrogênio e oxigênio como reagentes primários, porém, elas podem operar com uma variedade de combustíveis que depende do tipo de processamento do mesmo e do reformador usado.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. Conclusões

As transformações no mundo vão continuar enquanto ele existir cabe a nós decidirmos os rumos dessas mudanças. Se quisermos um mundo limpo e vivo, vamos desenvolver maneiras que contribuam para isso, que ao invés de poluir para evoluir, vamos construir pra evoluir de modo sustentável, contado com todas as forças vivas da natureza.

Não basta fazer projetos de preservação ambiental ou de recuperação da biodiversidade, enquanto o mundo não tiver em mente que a biodiversidade é uma das propriedades fundamentais da natureza, responsável pelo equilíbrio e estabilidade dos ecossistemas.

Para a concepção deste trabalho foi efetuada uma importante revisão bibliográfica, que permitiu uma consolidação da bibliografia referente aos processos anaeróbios de tratamento, da tecnologia dos biodigestores e dos aspectos ambientais decorrentes da atividade da suinocultura. Isto, associado à utilização com fins de produção de biofertilizante e de energia elétrica, permite concluir que será uma ferramenta útil para consulta dos suinocultores quanto à necessidade de um manejo correto dos resíduos resultantes de suas atividades.

Um biodigestor rural é viável, desde que haja demanda para utilização global de seus produtos, biogás e biofertilizante. As condições de aspectos locais no projeto devem ser minuciosas. Disponibilidade de água, regime de criação em confinamento, proximidade entre o curral e o biodigestor são fatores essenciais.

Em relação às atividades rurais destinadas à complementação de um biosistema integrado, deve-se ressaltar, que a escolha de cada uma deverá ocorrer de acordo com as condições topográficas da propriedade suinocultura, a aptidão particular de cada proprietário para dedicar-se a uma delas, e a presença e/ou distância adequada de um centro consumidor para absorver a demanda.

Assim, de nada adiantará um produtor desenvolver um trabalho de piscicultura se o mercado consumidor estiver tão distante da propriedade que os custos de transporte inviabilizem a atividade. Da mesma forma, uma atividade como a aquaponia não encontrará sucesso, se não dispor de uma procura que justifique sua implantação.

Para além de ser um projeto que mostrou ser viável, no conto geral, o uso do biofertilizante na lavoura também pode ser contabilizado como benefício nos cálculos de viabilidade econômica, sendo um fator consorciado de retorno do investimento associado a vantagens consideráveis se comparando com esterco cru, como é utilizado hoje, em muitas propriedades sem o uso do biodigestor.

A higienização é outra vantagem da implantação do biodigestor, evitando odores e proliferação de parasitas.

Acredita-se que problemas existirão na implantação deste sistema. Contudo, cabe à pesquisa o desenvolvimento do aproveitamento energético contido nos dejetos e a adequação dos equipamentos para o aproveitamento do metano como fonte renovável de energia, dentro de um conceito de desenvolvimento sustentável e de racionalização da produção sem agressão ao Meio- Ambiente.

Também verificou-se que esta tecnologia pode ser apropriada como estratégia de conservação e uso eficiente da energia. O emprego da biodigestão anaeróbia no tratamento dos dejetos é possível e desejável, uma vez que contribui para preservação do Meio Ambiente, viabiliza os modernos sistemas de confinamento e reduz o custo da produção.

5.2. Considerações Finais

Pelo exposto, conclui-se que a execução do projeto e a construção de um biodigestor modelo indiano não apresentam importantes dificuldades, entretanto, necessitam de equipe com conhecimento técnico destes tipos de empreendimento, dos materiais e métodos a serem utilizados no projeto e na construção, além de disponibilidade financeira.

Esta propriedade rural possui um financiamento próprio, que se adequaram na implantação deste sistema. Os custos de implantação parecem elevados, mas foi feito de acordo a disponibilidade financeira e a tendência de se construir um sistema que corresponderia o crescimento num futuro breve da mesma propriedade.

Para propriedades, menores dependendo da capacidade, e finalidade da mesma um estudo local deve ser feito, desde já se garante que, fruto de experiências em instalações de pequenos portes no Brasil, onde vários modelos são utilizados, pode-se mesmo afirmar que

este processo de produção de biogás utilizando os dejetos suínos, e conseqüentemente daí vir a utilização do biogás para diversos fins, é rentável e sua implementação é recomendável.

O presente trabalho pode ser utilizados na formulação de políticas públicas a fim de implementar assistência técnica para a utilização de biodigestores, bem como podem ser utilizados para subsidiar propostas de programas de financiamento de aproveitamento de biomassa para fins de produção de energia, voltados a esse segmento da agricultura, ou outros que produzem biomassa equivalente, tendo em vista a economia de custos gerada no processo, bem como as inequívocas vantagens ambientais.

Os custos de implantação desse tipo de biodigestor podem constituir obstáculo à adoção dessa tecnologia, por muitas propriedades, pois são assentamentos e agricultores com baixa capacidade de investimento. Estes obstáculos podem ser melhorados com as política governamentais, que consideramos ainda muito tímidas, para um aproveitamento deste recurso importante hoje em dia para a preservação do meio ambiente.

5.3 Continuidade do Projeto

Esta dissertação abre um grande leque de possibilidade para continuação, pode ser mais refinada, fazendo uma análise separada das condições financeiras, que os fazendeiros da região possuem e o sistema que mais os adequaria nesta região;

Propor-se um estudo mais aprofundado sobre a integração do matadouro e as baias na produção de biogás, uma comparação entre as condições climáticas desta região e de regiões que já possuem sistemas idênticos implantados com sucesso como a região sul do Brasil;

A construção de modelos de teste que levariam em conta as condições locais e ou a combinação entre um sistema de geração elétrica a biogás e o sistema normal de fornecimento da rede pública;

Todo estudo é dinâmico cada vez que se repete um estudo no mínimo melhora-se o que se fez, por isto a continuidade ou a ramificação deste estudo, depende dos pesquisadores do ramo, estudantes dos vários níveis profissionais, ou interessados em assuntos que estão em agenda no mundo inteiro como é a geração de energia limpa, sem agressão ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

BARRERA, P. Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural. São Paulo: Ícone, 1993. 106p.

BENINCASA, M. ; ORTOLANI, A.F. ; JUNIOR, J.L. Biodigestores convencionais. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Paulista, 1991. 25p.

BLEY JÚNIOR, C.J. *Projeto de controle da contaminação ambiental decorrente da suinocultura no Estado do Paraná*. Curitiba: Ministério do Meio Ambiente, 2003. 162 p. [[Links](#)] acesso em 12 outubro de 2009.

[38] CCE - CENTRO PARA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. *Guia Técnico do Biogás*. Algés: JE92 Projeto de Marketing Ltda., 2000.

CAMPOS, A T. Manejo de dejetos de bovinos. In: III Encontro nacional de técnicos, pesquisadores e educadores de construções rurais. XXVII CONBEA. Lavras: UFLA. p.233-79, 1998.

CASAGRANDE, L. F. Avaliação Descritiva de Desempenho e Sustentabilidade entre uma Granja Suinícola Convencional e outra Dotada de biosistema Integrado (B.S.I). 2003, Florianópolis.

COLDBELLA. A et All. Importancia da Higienizacao na Producao Avicola Concordia: Embrapa Suinos e Aves, 2004 (Embrapa Suinos e Aves, Comunicado Tecnico, 363).

COSTA, Alfredo Ribeiro da; SILVA, Nazareno Ferreira da; GOMES, Francisco Plínio Barrôzo. Biodigestor. Goiânia: Editora da Universidade Católica de Goiás, 1985.
DIAS, Edna Cardozo. **Manual de crimes ambientais**: lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Belo Horizonte: Mandamentos, 1999.

DOURMAD, J.Y.; GUINGAND, N.; LATIMIER, P.; SEVÉ, B. Nitrogen and phosphorus consumption, utilization and losses in pig production: France. *Livestock Production Science*, Shannon, v.58, p.199-211, 1999. [[Links](#)] acesso em 22 de setembro de 2009.

REFERÊNCIAS

FERNANDES JÚNIOR, A. Tratamentos físicos e biológicos da manipueira. In: CEREDA, M.P. (Coord.) *Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca*. São Paulo: Fundação Cargill, 2001. v.4, cap.10, p.138-50. [[Links](#)] acesso em 02 de setembro de 2009.

FLORENTINO, H.O. Mathematical tool size rural digesters. **Science Agrícola**, Piracicaba, v.60, n.1, p.185-190, 2003.

FLORENTINO, H.O at all *Aplicativo Computacional para Projetos e Construções de Biodigestores Rurais*, Parte da dissertação de mestrado com o mesmo título, Botucatu, 2006 p. 118-138.

GADNHA, C. D., Molin, J. P., Coelho, J. L. D., Tomimori, S. M. A. W..**Máquinas e implementos agrícolas do Brasil**. 468p. São Paulo-SP, 1991.

GARCIA-VAQUERO, E. Projeto e construção de alojamento para animais. 2ed. Lisboa: Litexa-Portugual, 237p. 1981.

GASPAR, R.M.B.L. Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo - PR. 2003. 106 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Estratégia Organizacional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

HARDOIM, P.C. Efeito da temperatura de operação e da agitação mecânica na eficiência da biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos. Jaboticabal, S.P. 88p, 1999. (Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Zootecnia, Área de Concentração Produção Animal, FCAV, UNESP, Jaboticabal, SP).

ITAIPU BINACIONAL. *Projeto cultivando água boa, apresentações de projetos*. Disponível em [[Links](#)] acesso em 12 de setembro de 2009.

JELINEK, T. Collection, storage and transport os swine wasters. In: TAIGANIDES, E.P. *Animal wastes*. Essex: England Applied Science, 1977. p.165-74.

REFERÊNCIAS

KONZEN, E.A. *Avaliação quantitativa e qualitativa dos dejetos de suínos em crescimento e terminação, manejados em forma líquida*. 1980. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Medicina Veterinária, Belo Horizonte, 1980.

KOLLING, E. M., **Análise de um Sistema Fotovoltaico de Bombeamento de Água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2001.

LASLOWSKI, M. Avaliação ambiental e econômica do biogás, obtido através da biodigestão anaeróbia dos dejetos da suinocultura. 2004. 63 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Agronomia) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2004.

LEI SOBRE INCENTIVOS FISCAIS E ADUANEIROS AO INVESTIMENTO PRIVADO EM ANGOLA, Lei regula os procedimentos, tipos e modalidades de concessão de incentivos fiscais e aduaneiros no quadro da lei de Base do Investimento Privado.

http://www.consuladodeangola.org/index.php?option=com_content&task=view&id=262&Itemid=239 acesso: 28 de Novembro de 2009.

LOURES, E.G. Manejo de dejetos de suínos. In: III Encontro nacional de técnicos, pesquisadores e educadores de construções rurais. XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Lavras: UFLA. anexo. 1998.

LUCAS JÚNIOR, J. et al. O esterco de suínos como substrato de biodigestor contínuo: observações quanto ao início da operação. In: XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Jundiaí: SBEA, p.658, 1987. Resumos.

LORENZO, E., **Electricidad solar – Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos**. 184p., ProgenSA- Sevilla, Espanha, 1994.

MACKIE, R.I.; STROOT, P.G.; VAREL, V.H. Biochemical identification and biological origin of key odor in livestock waste. *Journal of Animal Science*, Savoy, v.76, p.1331-42, 1998. [[Links](#)] acesso em 13 de setembro de 2009.

REFERÊNCIAS

MAMED, R.A. *Consumo de água e relação água/ração para suínos em crescimento e terminação*.1980. 23 f. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Medicina Veterinária, Belo Horizonte, 1980.

Ministério das Minas e Energia, ``*O Biogás e sua Tecnologia*`` Departamento de Estudos de Novas Fontes Alternativas de Energia – DFE, CAEEB Fevereiro de 1981.

MOREIRA, I.; PAIANO, D.; OLIVEIRA, G.C.; GONÇALVES, G.S.; NEVES, C.A. Performance and carcass traits of pigs (33 - 84 kg) reared on compact floor or with shallow pool. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.32, n.1, p.132-9, jan./fev. 2003. [[Links](#)] acesso em 14 de Maio de 2009.

NOGUEIRA, E. Análise de investimentos In: BATALHA, M.O. *Gestão Agroindustrial*. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2001. 388 p.

OLIVEIRA, P.A.V. *Manejo de água - influência do volume de dejetos produzidos*. In: Dia de campo sobre manejo e utilização de dejetos de suínos, 1994, Concórdia. *Anais...* Concórdia: EMBRAPA/CNPISA, p.25-28.

OLIVEIRA, A.R. de Jr. *Manejo de dejetos*. 1994. Disponível em: www.conpassu.com.br/dejetos. Acesso em: 20 junho 2009. [[Links](#)]

ORTOLANI, A.F.; BENINCASA, M.; JUNIOR, J.L. **Biodigestores Rurais**: modelo indiano. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Paulista, 1991. 35p.

OLIVEIRA, Paulo A. V. Impacto ambiental causado pelos dejetos de suínos. Simpósio Latino-Americano de Nutrição de Suínos, 1994. **Anais**, p. 27-40.

PENZ JUNIOR, Antônio Mário; MEINERZ, Cibele Elisse Timm; MAGRO, Neori. Efeito da nutrição na quantidade e na qualidade dos dejetos suínos.

PALZ, W., **Energia solar e fontes alternativas**. Ed. Hemus, 357p., Paris, França, 1995.

REFERÊNCIAS

RESENDE, A.P.S. et al. A energia renovável e o meio ambiente. In: Energia, Automação e Instrumentação. XXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Lavras: UFLA. Anexo. p 16, 1998.

ROSILLO-CALLE, F.; BAYAY, S.V. ROTHMAN, Industrial Uses of Biomass Energy: The Example of Brazil. London: Taylor & Francis, 2000.

SHARPLEY, A.; FOY, B.; WITHERS, P. Practical and innovative measures for the control of agricultural phosphorus losses to water: An overview. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v.29, n.1, p.1-9, 2000.

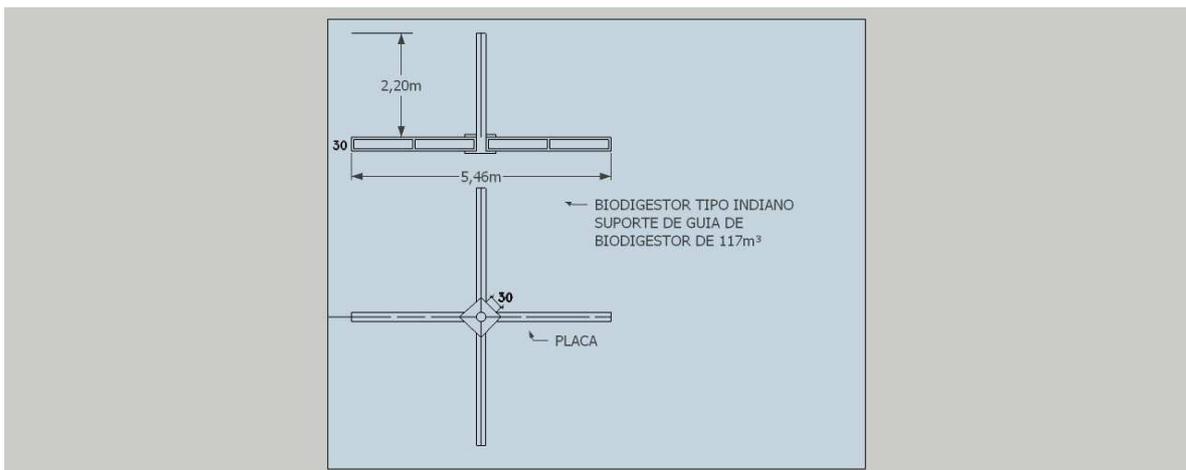
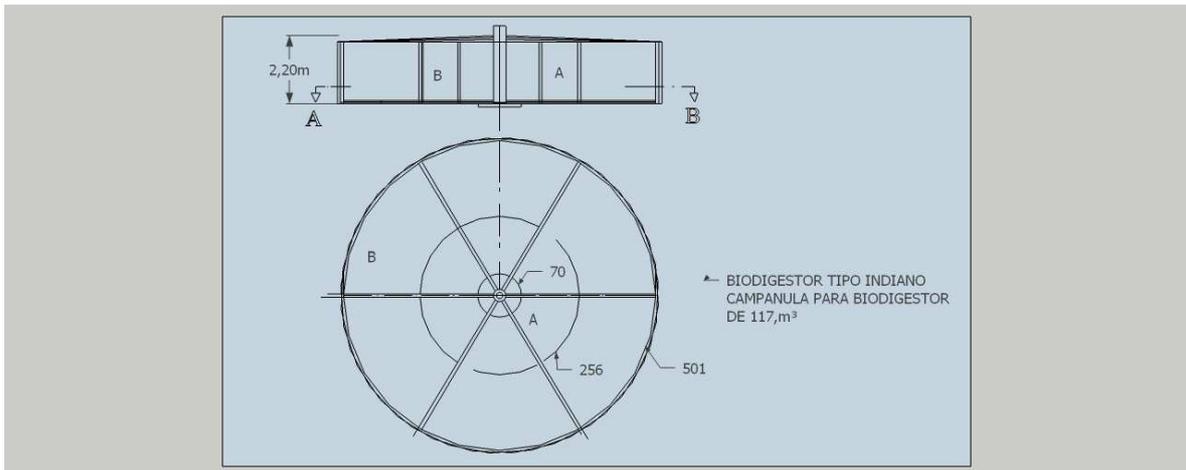
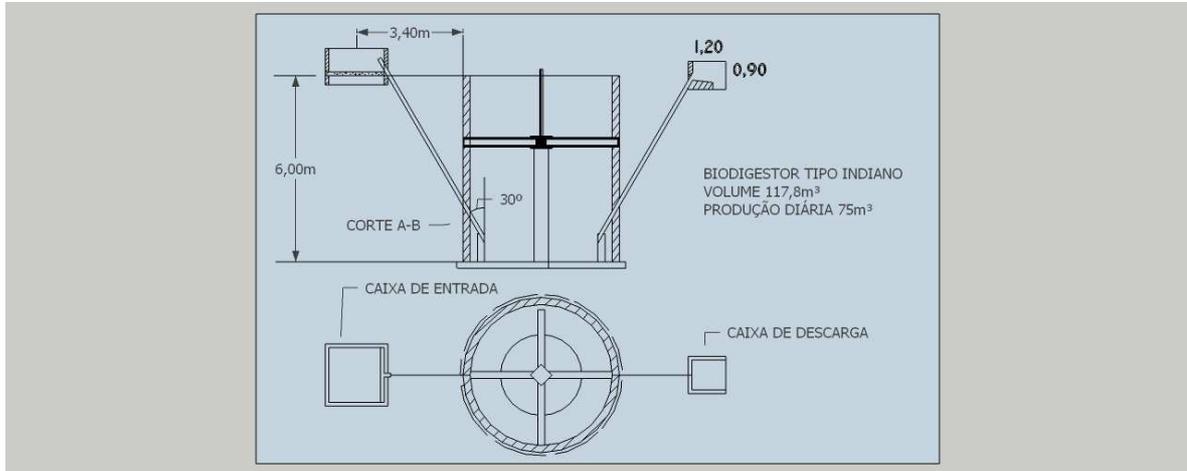
SILVA, F.M. Utilização do biogás como combustível. In: Energia, Automação e Instrumentação. XXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Lavras: UFLA. Anexo. p 97, 1998.

SOUZA, A. et al. Análise das instalações elétricas em uma empresa rural (produção de leite "B"). Trabalho da disciplina Eletrificação Rural. Departamento de Engenharia da UFLA. Lavras: UFLA. 10p, 1998.

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**. *Acta Scientiarum. Technology*, Maringá, v.26, p.127-133, 2004.

SALOMAN K.R., “Avaliação Técnico Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade” – Itajuba-MG, 2007.

ANEXO 1: Projeto de instalação de biodigestor modelo indiano para a produção de 508 m³ de biogás por dia



ORÇAMENTO

Obra: Construção de Biodigestor para produção de Biogás

Local: Fazenda Menga, Município de Icolo Bengo – Angola

Capacidade: 75 m³/dia

Data: Março 2010

Item	Especificação	Qtd.	Unid.	Unidade	Total
1	Pedra britada	15	m ³	\$ 30,00	\$ 450,00
2	Areia grossa	30	m ³	\$ 5,00	\$ 150,00
3	Cimento	100	Saco (50 kg)	\$ 12,00	\$ 1.200,00
4	Tijolo	2	Mil	\$ 0,40	\$ 800,00
5	Tubo de amianto de 100mm	4	(6m)	\$ 10,00	\$ 40,00
6	Chapa preta 12	300	Kg	\$ 2,50	\$ 750,00
7	Cantoneira L 1 3/8''x6mm	250	Kg	\$ 2,00	\$ 500,00
8	Chapa 1/4''	75	Kg	\$ 2,50	\$ 187,50
9	Cano galvanizado de 100mm	2	(6m)	\$ 24,00	\$ 48,00
10	Cano galvanizado de 75mm	4	(6m)	\$ 24,00	\$ 96,00
11	Parafuso de 14mm x 50mm	20	Um	\$ 0,20	\$ 4,00
12	Asfalto/Impermeabilizante	10	Kg	\$ 0,30	\$ 3,00
13	Mão de Obra do gasômetro	-	-	-	\$ 220,00
14	Mão de Obra da Construção	-	-	-	\$ 500,00
15	Outros	-	-	-	\$ 444,85
Total					\$ 5.393,35

Sistema de Filtragem do Biogás



A ENIPLAN Empresa Brasileira sediada em São Paulo – Brasil, oferece uma vasta linha de filtros entre os quais a linha CDF que atende as capacidades de 1.400 a 33.000 m³/h. Projetados e construídos conforme ASME seção VIII, div.1, contam com carcaça em aço carbono ou aço inox, elementos filtrantes para quaisquer aplicações, manômetro diferencial de pressão e purgador automático com filtro de proteção e válvula de bloqueio. Essa linha de filtros atende a purificação de gases corrosivos como os derivados de enxofre presentes no biogás.

Armazenamento do Biogás



Pequena central de compressão será construída para comprimir o biogás e armazenar antes de ser enviado para a turbina.

Turbina Biogás



Catacterísticas

Alimentação: Biogás/Gas Natural

Capacidade: 10kw - 800kw

Tensão: 400 v

Fases: 3

Frequência: 50/60 Hz

Velocidade: 1500/1800 rpm

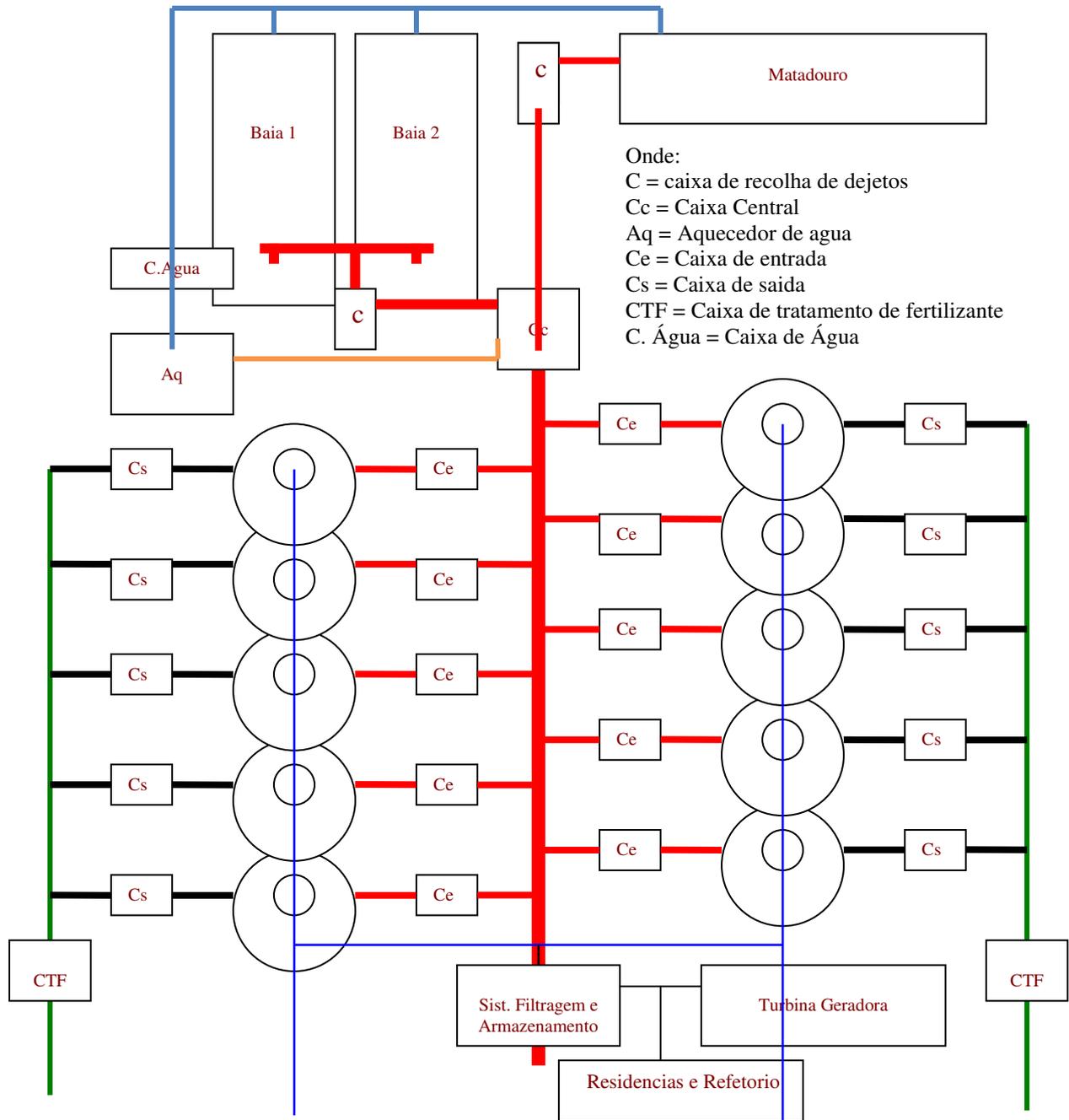
Eficiência: 30 – 40 %

Modelo: ALIBABA/CGE - 10GF

Origem: Shandong – China

Preço: \$ 800.00 – 16, 450.00

Entrega: China – Angola 30 dias; Brasil – Angola 45 dias



Cotas da Instalação			
Descrição	Símbolo	Cota	Unidade
Baias	Baia 1 e 2	50x40	m ²
Matadouro	Mat.	30x20	m ²
Cota entre Baia1 e Baia2	Baia 1 e 2	8.0	M
Caixa de recolha	C	2x3x1	m ³
Caída de entrada	Ce	2x2x1	m ³
Caixa de saída	Cs	1.2x1.2x1	m ³
Caixa central	Cc	10x10x2	m ³
Caixa da Água	C gua	3x4x2	m ³
Caixa de Tratamento de Fertilizantes	CTF	5x5x5	m ³
Cota entre a Caixa de entrada e o Biodigestor	-	3.4	M
Cota entre a caixa de saída e o Biodigestor	-	2.8	M
Cota entre caixa de entrada e a linha de carregamento	-	3.0	m
Cota entre os cetros dos Biodigestores	-	7.0	m

ANEXO 2: Questionário utilizado na pesquisa realizada no município
de Icolo e Bengo - Angola

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologias e Ciências
Faculdade de Engenharia
Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica - Mestrado

Tipo de Pesquisa: Dissertação de Mestrado

Curso: Ciências de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Fenômenos de Transporte

Título: Projeto de Biodigestor para Geração de Bioenergia em Sistema de Produção de
Suínos

Um estudo de caso da Região de Icolo Bengo-Angola

Autor: Eng. Abrão Macandi Dongala

Orientador: Prof. Dr. Mauro Carlos Lopes Souza

Local Pesquisado

Questionário

Instruções: Por favor, preencher respondendo apenas as questões formuladas. Os comentários podem ser adicionados no final do questionário.

1. Qual a sua opinião sobre o crescimento da Suinocultura na região de Icolo Bengo?
 Cresce Pouco Cresce ritmo normal Cresce Muito
2. Em sua opinião qual o sistema que melhor se adequaria na criação de gado nesta região?
 Sistema ao Ar livre Sistema de confinamento
3. Quais as conseqüências que podem advir da exposição dos dejetos Suínos em solo, sem o devido tratamento?

- Poluição das águas Poluição do solo Poluição do ar
4. Conhece alguma utilidade dos dejetos Suínos? SIM NÃO. Conhece algum método de tratamento de dejetos suínos SIM NÃO.
5. Já ouviu falar de Biodigestores?
 SIM NÃO.
- Se SIM, já viu algum instalado na região?
 SIM NÃO. E no País? SIM NÃO.
6. Conhece as potencialidades existentes nos dejetos suínos? SIM NÃO. Já ouviu falar em Biogás? SIM NÃO.
7. Como é o sistema de fornecimento de Energia na Sua Região?
 Via Rede local (Hidroelétricas) Via Termoelétrica Gerador local
8. Qual a maior Utilidade da energia na sua fazenda?
 Iluminação e aparelhos elétricos Acionar alguma máquina
9. Está associado a alguma Organização do setor?
 SIM NÃO. Em qual dos intervalos a seguir, sua propriedade se encontra?
- Menos de 50 cabeças de suínos
- Entre 50 – 100 Cabeças
- Acima de 100 cabeças
10. Gostaria de Implantar algum sistema de tratamento de dejetos na sua fazenda?
 SIM NÃO.

Comentários extras:

.....
