

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM BIODIGESTOR
COMUNITÁRIO EM COMUNIDADE DE BAIXA RENDA

Diego Fernandes Farias

Mario Augusto Alves Silva Junior

São Paulo

2009

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM BIODIGESTOR
COMUNITÁRIO EM COMUNIDADE DE BAIXA RENDA

Trabalho de formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Graduação em
Engenharia

Diego Fernandes Farias
Mario Augusto Alves Silva Junior

Orientador: Prof. Dr. Flavio A. S. Fiorelli

Área de Concentração: Engenharia Mecânica

São Paulo

2009

FICHA CATALOGRÁFICA

Farias, Diego Fernandes

Estudo para Implementação de um Biodigestor Comunitário em Comunidade de Baixa Renda / D. F. Farias, M. A. Alves Junior. -- São Paulo, 2009.

79 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Biodigestores 2. Biogás I. Alves Junior, Mario Augusto II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica III. t.

RESUMO

O presente estudo tem por objetivo encontrar uma solução para implantação de um Biodigestor anaeróbico em uma comunidade de baixa renda da cidade de Osasco – SP. Para tanto, inicialmente foi feito um levantamento quantitativo de dados de produção de lixo orgânico e consumo de gás de cozinha de uma parcela da população para avaliação de média desses valores que permitisse estimar a produção de biogás. Paralelamente a isso foi feita uma avaliação dos possíveis modelos de biodigestores a serem usados de forma a definir o que melhor se adapta à situação. O mesmo estudo foi feito em relação a um lugar apropriado para instalação do biodigestor. Tomando como a estimativa de produção per capita de biogás para a solução escolhida, o passo seguinte foi definir qual seria o uso mais adequado para o biogás, seguida de um estudo de viabilidade para implementação do biodigestor na comunidade. Os resultados do trabalho indicaram uma produção per capita de biogás de $0,05 \text{ m}^3$ por dia, o que implicou na escolha do biodigestor modelo batelada. Dentre as possibilidades levantadas, a destinação mais adequada para o biogás produzido foi o abastecimento de um gerador que suprirá energeticamente a Sociedade Amigos do Jardim Conceição. O estudo de viabilidade indicou que pela escala do projeto o mesmo não é economicamente viável com um retorno de investimento de aproximadamente 17 anos, porém a iniciativa de fomentar iniciativas desse tipo seria um saldo positivo do projeto.

ABSTRACT

This study is about to find a solution of an anaerobic digester in a low income community in the city of Osasco – SP. It was made a data survey of organic solid waste production and gas consumption for cooking of a share of the population. Using this we get an average value that within will be estimated the biogas production. Parallel to this study was made a discussion of the possible digester models to be used and then will be choice that one that best fit to the situation. The same study was made looking up an appropriate place to install the digester. Taking some studies as base and using the collected data we estimated the biogas production of the choose solution. As for the fate of biogas, was raised a discussion of how to better employability for the biogas, and based on several factors was chosen that best fit. From these points was made a feasibility study for implementation of the digester in the community. The results of the work indicated a per capita production of biogas of 0.05 m^3 per day, resulting in the choice of the batch digester model. Among the range of possibilities, the destination best suited for biogas was the supply of a generator that will supply the power generation of Sociedade Amigos do Jardim Conceição. The feasibility study indicated that because of the scale of the project it is not economically viable with a return on investment of about 17 years, but the initiative to promote such initiatives would be a positive balance of the project.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados das pesagens dos recipientes após sete dias	30
Tabela 2 - Resultados expurgados das pesagens dos recipientes após sete dias	31
Tabela 3 - Consumo de energia	44
Tabela 4- Técnicas de remoção de impurezas do biogás Fonte: Velazques, S; Avellar, M	49
Tabela 5 - Avaliação de produção	52
Tabela 6 - Especificações de gerador a biogás (Fonte: Guangzhou Dingfeng Machinery Co.,Ltd)	54
Tabela 7 - Produção diária de biogás	55
Tabela 8 – Capacidade Volumétrica	57
Tabela 9– Custo do Projeto	60
Tabela 10 - Orçamento da Bateria de Biodigestores.....	60
Tabela 11 Análise de Retorno de Investimento	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Foto do Jardim Conceição (Fonte: Poli Cidadã, 2009)	15
Figura 2 – Vista tridimensional de um biodigestor chinês (DEGANUTTI <i>et. al.</i> , 2002).....	19
Figura 3 – Vista tridimensional (DEGANUTTI <i>et. al.</i> , 2002)	20
Figura 4 – biodigestor da marinha (www.portaldoagronegocio.com.br)	21
Figura 5 – Biodigestor de Batelada (DEGANUTTI <i>et. al.</i> , 2002.).....	22
Figura 6 - Recipiente fornecido para as famílias para o depósito de lixo orgânico.....	25
Figura 7 – Viela A.....	27
Figura 8 – Viela B	27
Figura 9 – Abordagem das Famílias.....	28
Figura 10 – Explicação do projeto e entrega dos recipientes	29
Figura 11 – Pesagem dos recipientes após sete dias.....	29
Figura 12 - Dispersão nos resultados	30
Figura 13 – Produção de biomassa e consumo médio de GLP por pessoa	31
Figura 14 – Praça Paris.....	34
Figura 15 – Possível terreno para implementação.....	35
Figura 16 – Parâmetros para dimensionamento do biodigestor (Portes, 2006).....	37

Figura 17 – Equações para dimensionamento do biodigestor (Portes, 2006).....	38
Figura 18 – Equações para cálculo de h_1 , h_2 e h_3 para o biodigestor (Portes, 2006)	39
Figura 19 – Produção de Biogás absoluta por dia de processo (GORGATI; JUNIOR, s.d.)	40
Figura 20 – Porcentagem de biogás produzida (GORGATI; JUNIOR, s.d.)	40
Figura 21 – Turbina a gás (Solar Turbines,2009).....	46
Figura 22 – Componentes de uma microturbina (Pecora, 2006).....	46
Figura 23 – Representação esquemática do funcionamento de um motor Diesel (Pecora, 2006)	47
Figura 24 – Desenho esquemático de um motor Otto de quatro tempos(Pecora, 2006)	48
Figura 25 – Purificadores de biogás Fonte: PECORA, 2006	50
Figura 26 - DF1500G, gerador elétrico à biogás (Fonte: Guangzhou Dingfeng Machinery Co.,Ltd).....	53
Figura 27 – Triturador.....	58
Figura 28 – Tambor Biodigestor	63
Figura 29 – Representação Esquemática da Bateria.....	64
Figura 30 – Aumento da temperatura global.....	68
Figura 31 – Concentração dos GEEs ao longo do tempo Fonte: IPCC	69
Figura 32 – Nível do mar ao longo do tempo Fonte: IPCC.....	70
Figura 33 – Aterro Bandeirante Fonte: Biogás Ambiental.....	73
Figura 34 – Projeto Créditos de carbono do grupo Plantar S A Fonte : Grupo Plantar.....	73

SUMÁRIO

ÍNDICE DE TABELAS

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Introdução	14
1.1. Motivação.....	14
1.2. O Jardim Conceição.....	15
2. Biogás e Biodigestão	16
2.1. O Biogás	16
2.2. A Formação de Biogás	17
3. O Biodigestor	18
3.1. Biodigestor Chinês	19
3.2. Biodigestor Indiano	20
3.3. Biodigestor da marinha	21
3.4. Biodigestor de Batelada.....	21
4. Avaliação da Quantidade de Biomassa Disponível.....	23
4.1. Dados a serem Levantados.....	23
4.2. Método de Tomada de Dados.....	23
4.2.1. Método para um grupo restrito	23

4.2.1.1.	Seleção de famílias	24
4.2.1.2.	Abordagem	24
4.2.1.3.	Cadastramento e questionário.....	25
4.2.1.4.	Período de coleta	26
4.2.1.5.	Coleta e pesagem.....	26
4.2.2.	Pesquisa de Campo	26
4.2.2.1.	Coleta de Dados	28
4.3.	Resultados da Coleta de Dados.....	30
5.	Definições Preliminares	32
5.1.	Definição do tipo de biodigestor	32
5.2.	Local de instalação	33
5.2.1.	Definição do local.....	34
5.3.	Destino do biogás produzido	35
6.	Solução Escolhida para o Biodigestor.....	36
6.1.	Aspectos Construtivos do biodigestor.....	36
6.1.1.	Aspectos operacionais	39
6.2.	Avaliação de Produção	39
7.	Alternativas para Uso do Biogás	42

7.1.	Utilizaçãodo biogás produzido para abastecer a demanda por gás de cozinha	42
7.2.	Utilização do biogás produzido para fins comunitários – Posto de saúde.....	43
7.3.	Utilização do biogás produzido para fins comunitários – Sociedade Amigos do Bairro	43
7.4.	Utilização do biogás produzido para iluminação pública.....	43
8.	Escolha da solução aplicada	44
8.1.	Estimativa de consumo de Energia da Solução	44
9.	Aspectos operacionais da geração de energia.....	45
9.1.	O Motor	45
9.1.1.	Tecnologias para conversão de biogás em energia elétrica	45
	• Turbinas a gás	45
	• Microturbinas a gás	46
	• Motores de combustão interna	47
9.2.	Tratamento prévio do biogás	49
9.3.	Composição e potencial energético do biogás.....	50
9.4.	Conjunto Gerador	52
9.4.1.	Dimensionamento.....	52
9.4.2.	Especificações do Gerador.....	53
9.5.	O Gasômetro.....	54

10.Aspectos financeiros	56
10.1. Investimentos	56
10.1.1. Bateria de Biodigestores	56
10.1.1.1. Construção Própria	56
10.1.1.2. Contratação de empresa especializada	57
10.1.2. Gasômetro	58
10.1.3. Triturador	58
10.1.4. Reservatório de Coleta	59
10.1.5. Conjunto Gerador	59
10.1.6. Abrigo dos Equipamentos.....	59
10.2. Análise de Retorno de Investimento	60
11.Manual de Operação do Biodigestor.....	62
11.1. Montagem do Biodigestor.....	62
11.1.1. Local.....	62
11.1.2. Tambores digestores	63
11.1.3. Mangueiras e válvulas.....	63
11.1.4. Conexão	63
11.1.5. Gasômetro	63

11.1.6. Abrigo.....	64
11.1.7. Representação esquemática da bateria de biodigestores	64
11.2. Manutenção & Operação do Biodigestor	64
11.2.1. Pré operação	65
11.2.2. Operação	65
11.2.3. Manutenção	66
12.Aspectos ambientais.....	67
12.1. Poluição atmosférica e o meio ambiente	67
12.2. Aquecimento global	68
12.3. Protocolo de Kyoto	70
12.4. Créditos de carbono	71
12.5. Projetos em andamento	72
13.Análise de Viabilidade da Implantação do Biodigestor na Comunidade	74
14.Bibliografia.....	75
Anexo	77

1. Introdução

O objetivo do presente trabalho é o desenvolvimento de um biodigestor de pequeno porte para aplicação numa comunidade de baixa renda.

O escopo do projeto parte da revisão bibliográfica de pesquisas já realizadas sobre implementação de biodigestores, sejam eles de qualquer porte, dentro e fora do país, passando por uma triagem daquelas que se aplicam a biodigestores viáveis a serem aplicados numa comunidade de baixa renda.

Agrega-se a isso dados levantados entrevistando moradores de uma comunidade carente onde será estudada a implementação. Essa etapa além de fazer-se definir tal comunidade e local apropriado para instalação, implica em desenvolver uma metodologia de pesquisa, que somado a dados estatísticos encontrados na literatura, nos dará a dimensão da demanda do biodigestor. O que nos possibilita estimar a produção de biogás.

Paralelo ao levantamento será feita a seleção do modelo de biodigestor (dentre os estudados no capítulo 3) a ser usado.

Este trabalho não entrará nos méritos físico-químicos da produção do gás pelo biodigestor. Como já existem diversos estudos sobre o assunto, apenas faremos uso das informações necessárias para chegarmos aos resultados pretendidos.

Também faz parte deste trabalho o levantamento de custos, bem como todos os desenhos que se fazem necessário para o projeto do biodigestor, assim como o levantamento de eventuais fornecedores para a implantação do mesmo.

Um estudo complementar será feito sobre os produtos deste biodigestor e sua utilização. Consiste no projeto do sistema de distribuição do gás gerado pelo biodigestor.

Por fim o estudo não se encarrega de construir o biodigestor, porém serão procurados parceiros e entidades que possam se responsabilizar de levar o projeto adiante.

1.1. Motivação

Vivemos num mundo onde cada vez mais devemos ter uma conscientização ambiental para a manutenção sustentável da sociedade. Num cenário específico como a cidade de São Paulo, que possui inúmeras comunidades carentes, aplicamos nossos conhecimentos de engenharia para tentar sanar (ainda que num espaço amostral reduzido) as deficiências no aspecto ambiental de uma comunidade e prover um retorno energético para essa população.

Vale ressaltar a importante realização de aplicar diretamente mesmo que com passos pequenos a formação de um engenheiro em prol da sociedade.

1.2. O Jardim Conceição

A região do Jardim Conceição encontra-se na zona sul da cidade de Osasco. É uma região periférica com aproximadamente 11 mil habitantes, que comporta 2 áreas surgidas de ocupações de terra e quatro assentamentos de remanejamento de favelas. Essa ocupação teve início em 1987. De acordo com as informações da prefeitura, o Jardim Conceição se formou com a invasão de um terreno improdutivo em 26/06/1987. O terreno havia sido embargado pela prefeitura de Osasco, por falta de pagamento dos impostos. O prefeito à época obrigou à desocupação do terreno por cerca de 320 famílias, porém houve resistência e protestos por parte dos ocupantes. Com a posse do prefeito seguinte, as famílias que ficaram desabrigadas e ainda ocupavam o terreno, passaram a receber o apoio da prefeitura. (Fonte: Poli Cidadã, 2009)



Figura 1 – Foto do Jardim Conceição (Fonte: Poli Cidadã, 2009)

A falta de planejamento do bairro e o crescimento desordenado provocaram os problemas típicos de periferias de metrópole: falta de saneamento básico, transporte, infra-estrutura, educação, etc. Outros eventos ocorreram nesta região, como em 1992, quando ocorreu uma conturbação séria relacionada ao comércio de drogas e à violência associada. Uma resposta daquela comunidade foi o surgimento do Movimento Nova Vida. Por volta do ano 2000 a comunidade deu mostras de sua capacidade de organização através de diversos movimentos.

2. Biogás e Biodigestão

2.1. O Biogás

O biogás, ou “gás dos pântanos” foi descoberto por volta de 1667, mas somente um século mais tarde, em 1776, Alessandro Volta descobriu a presença de metano no gás dos pântanos. Já no século XIX Ulysse Grayon, aluno de Louis Pasteur, realizou a fermentação anaeróbica de uma mistura de estrume e água, a 35 °C, conseguindo obter 100 litros de gás por m³ de matéria. Em 1884, Louis Pasteur, ao apresentar os trabalhos do seu aluno à Academia das Ciências, considerou que esta fermentação podia constituir uma fonte de aquecimento e iluminação.

O primeiro documento relatando a coleta de biogás de um processo de digestão anaeróbica ocorreu em uma estação de tratamento de efluentes municipal da Inglaterra, em 1895, sendo que o primeiro estudo de aproveitamento em uma pequena planta, com uso de estrume e outros materiais, foi realizado em 1941 na Índia. Desde então, o processo anaeróbico tem evoluído e se expandido ao tratamento de resíduos industriais, agrícolas e municipais (ROSS & DRAKE, 1996).

Os primeiros países a utilizarem o processo de biodigestão de forma mais intensa e com finalidade energética foram a Índia e a China, nas décadas de 50 e 60 do século XX, sendo que esses países e outros, geralmente do terceiro mundo, desenvolveram seus próprios modelos de biodigestores.

Com a crise do petróleo na década de 70 foi trazida para o Brasil a tecnologia da digestão anaeróbica. Na região nordeste foram implantados vários programas de difusão dos biodigestores e a expectativa era grande, porém os benefícios obtidos a partir do biogás e do biofertilizante, não foram suficientes para dar continuidade aos programas e os resultados não foram muito satisfatórios (BOLETIM ENFOQUE, 1999).

Atualmente, esse processo vem se difundindo por vários países. A recuperação de energia gerada pelos processos de tratamento anaeróbico teve grande impulso com a crise do petróleo, quando diversos países buscaram alternativas para a sua substituição.

Até pouco tempo, o biogás era simplesmente conhecido como um subproduto obtido a partir da decomposição anaeróbica de lixo urbano, resíduos animais e de estações de tratamento de efluentes domésticos. No entanto, o acelerado desenvolvimento econômico dos últimos anos e a alta acentuada do preço dos combustíveis convencionais têm encorajado as investigações na produção de energia a partir de novas fontes renováveis e economicamente atrativas, tentando sempre que possível, criar novas formas de produção energética que possibilitem a poupança dos recursos naturais esgotáveis.

2.2. A Formação de Biogás

A produção de biogás é possível a partir de diversos resíduos orgânicos, como esterco de animais, lodo de esgoto, lixo doméstico, resíduos agrícolas, efluentes industriais e plantas aquáticas.

Quando a digestão anaeróbica é realizada em biodigestores especialmente planejados para tal fim, a mistura gasosa produzida pode ser usada como combustível. A composição típica do biogás é cerca de 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, aminas voláteis e oxigênio. Dependendo da eficiência do processo, influenciado por fatores como pressão e temperatura durante a fermentação, o biogás pode conter entre 40% e 80% de metano.

Em função da porcentagem com que o metano participa na composição do biogás, o poder calorífico deste combustível pode variar de 20500 a 28700 kJ/m³. Esse poder calorífico pode chegar a 49200 kJ/m³ uma vez eliminado todo gás carbônico da mistura. 1,0 m³ de biogás corresponde a:

- 0,61 litros de gasolina;
- 0,57 litros de querosene;
- 0,55 litros de óleo diesel;
- 0,45 kg de GLP;
- 0,79 litros de álcool combustível;
- 1,538 kg de lenha;
- 1,428 kWh de energia elétrica.

3. O Biodigestor

Um biodigestor é, basicamente, uma câmara fechada na qual a biomassa (em geral detritos orgânicos) é fermentada anaerobicamente. O resultado dessa fermentação é a liberação de biogás e a formação de um efluente muito rico em nitrogênio que pode ser usado como biofertilizante.

Em relação ao abastecimento de biomassa, o biodigestor pode ser classificado como contínuo, com abastecimento diário de biomassa e descarga de efluente proporcional à entrada, ou também pode ser classificado como intermitente (batelada), quando é armazenada a capacidade máxima de biomassa, e esta é retida somente após a completa biodigestão.

Existem registros de que o primeiro biodigestor a batelada foi posto em funcionamento regular em Bombaim em 1900. Inegavelmente a pesquisa e desenvolvimento de biodigestores foi na Índia, onde em 1939, o Instituto Indiano de Pesquisa Agrícola, em Kanpur, desenvolveu a primeira usina de *gobar gás* (gás de esterco em indiano), o sucesso obtido animou os indianos a continuarem as pesquisas, formando o Gobar Gas Institute em 1950, as pesquisas subseqüentes resultaram em grande difusão da metodologia de biodigestores como uma forma de tratamento dos dejetos animais para obtenção do biogás e do biofertilizante. Foi esse trabalho pioneiro na região de Ajitmal (Norte da Índia) que permitiu a construção quase 500.000 biodigestores no interior da Índia.

O biogás como fonte de energia também motivou a China, a partir de 1958 foram instaladas as primeira unidades de biodigestão e em 1972 já haviam 7,2 milhões de biodigestores na região do Rio Amarelo, região que possui condições climáticas favoráveis para a produção de biogás.

Com a crise energética da década de 70, a utilização de biodigestores passou a ser uma opção para países ricos e pobres, mas China e Índia apresentaram o uso mais acentuado dessa tecnologia.

O interesse da China nos biodigestores deveu-se originalmente a questões militares. Preocupada com a Guerra Fria, e com possíveis ataques à suas centrais elétricas e conseqüente paralisação das atividades econômicas, os biodigestores seriam uma forma de descentralizar as unidades produtoras de energia, garantindo auto-suficiência para pequenos vilarejos.

A Índia por ser ainda um país não auto-suficiente em petróleo, adotou a tecnologia de biodigestão anaeróbica como forma de suprir seu déficit energético.

Como ambos os países tiveram grande envolvimento com biodigestores, surgiram 2 tipos de biodigestores que acabaram se tornando os mais usados hoje em dia: o biodigestor chinês e o biodigestor indiano, ambos tem a mesma funcionalidade, mas apresentam diferenças. O modelo chinês é mais simples e mais

econômico para construir, mas em contrapartida o modelo indiano apresenta melhor rendimento na produção de biogás.

3.1. Biodigestor Chinês

O biodigestor chinês é constituído quase que totalmente de alvenaria; esse biodigestor foi projetado para ser barato e para economizar espaço devido a isso ele é totalmente enterrado no solo (DEGANUTTI *et al.*, 2002). O biodigestor formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria para fermentação, com teto impermeável, destinado ao armazenamento do biogás, como pode ser visto na Figura 3.

Este biodigestor funciona com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que aumentos de pressão em seu interior, devido ao acúmulo de biogás, resultarão em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre descompressão. Geralmente uma parcela de biogás é liberada para atmosfera para evitar grandes pressões internas, por isso esses biodigestores não são usados para instalações de grande porte.

Esse tipo de biodigestor requer um abastecimento contínuo de matéria orgânica, e o substrato para produção de biogás não deve apresentar porcentagem de sólidos totais superior a 8%, para evitar que ocorram entupimentos.

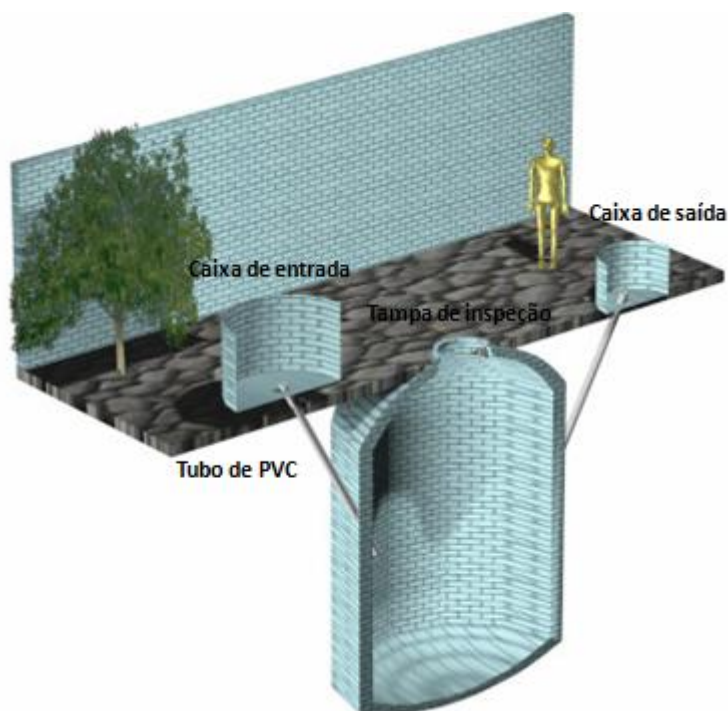


Figura 2 – Vista tridimensional de um biodigestor chinês (DEGANUTTI *et al.*, 2002)

3.2. Biodigestor Indiano

Esse modelo de biodigestor, mostrado na Figura 4, caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação ou em um selo d'água externo, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória é fazer com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação.

É uma característica desse modelo a operação em pressão constante, pois à medida que o biogás é gerado e não é consumido de imediato a campânula tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume interno e mantendo assim a pressão constante (DEGANUTTI *et al.*, 2002)

O resíduo utilizado para alimentar o biodigestor indiano deve apresentar uma concentração de sólidos totais não superior a 8% para facilitar a circulação do resíduo pelo interior da câmara de fermentação e evitar entupimento dos canos. O abastecimento, como no modelo chinês, deve ser contínuo. É um biodigestor de fácil construção, mas o gasômetro de metal encarece o custo final. Abaixo temos uma vista em corte e uma tridimensional de um biodigestor modelo indiano.

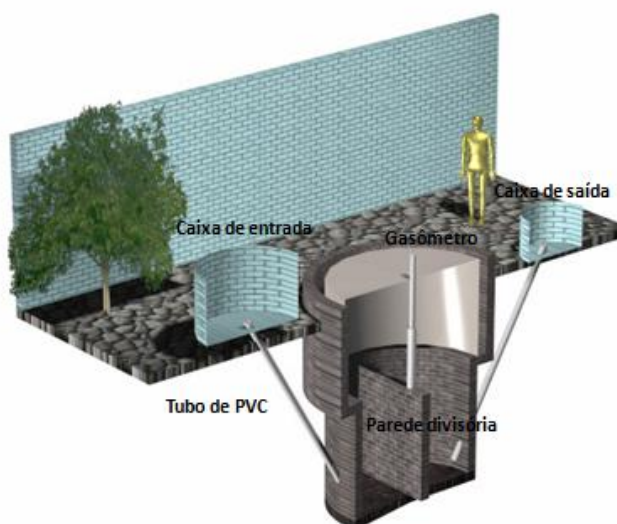


Figura 3 – Vista tridimensional (DEGANUTTI *et al.*, 2002)

3.3. Biodigestor da marinha

O biodigestor da marinha ou canadense, mostrado na Figura 5, é um modelo horizontal, ou seja, tem menor profundidade, mas é mais largo que os demais biodigestores. Devido a esse fato, apresenta maior área de exposição solar, o que acarreta uma maior produção de biogás em função do aquecimento. O gasômetro deste biodigestor é de plástico maleável, tipo PVC, que infla como um balão conforme o biogás é produzido. Para que o gás saia do biodigestor com pressão suficiente para ser utilizado, costuma-se colocar sacos de areia e pedras sobre o gasômetro.



Figura 4 – biodigestor da marinha (www.portaldoagronegocio.com.br)

3.4. Biodigestor de Batelada

Trata-se de um sistema de biodigestão bastante simples e de pequena exigência operacional. Sua instalação poderá ter apenas um tanque anaeróbico, ou vários tanques em serie. Esse tipo de biodigestor é abastecido de uma única vez, portanto não é um biodigestor de fluxo contínuo, mantendo-se em fermentação por um período conveniente, sendo o material descarregado posteriormente após o termino do período efetivo de biogás.

Enquanto os modelos chinês e indiano prestam-se para atender propriedades em que a disponibilidade de biomassa ocorre em períodos curtos, com disponibilidade diária de biomassa, o modelo de batelada adapta-se melhor quando essa disponibilidade ocorre em períodos mais longos. A Figura 5 mostra a representação tridimensional em corte mostrando todo o interior do biodigestor.



Figura 5 – Biodigestor de Batelada (DEGANUTTI *et. al.*, 2002.)

4. Avaliação da Quantidade de Biomassa Disponível

4.1. Dados a serem Levantados

Para dar continuidade à pesquisa e se chegar a uma solução que seja o mais próximo possível do cenário observado na comunidade devemos estabelecer alguns pontos que tragam esse ambiente para as pesquisas. Esse conjunto de dados irá fazer com que tenhamos propriedades que possibilitem futuras comparações com estudos já realizados e experimentos feitos no campo de digestão anaeróbica.

Tendo em mente que nosso campo de trabalho se restringirá a resíduos sólidos, precisamos de um valor final que nos dê a entrada de matéria prima no biodigestor. Para se chegar a esse valor iremos trabalhar com os seguintes dados:

- a) Produção de lixo orgânico por pessoa num determinado período de tempo
- b) Consumo de gás de cozinha (GLP) em um determinado espaço de tempo

O primeiro conjunto de dados (a) será usado diretamente para estimar oferta de biomassa que teremos para o biodigestor. Já o segundo utilizaremos mais adiante para comparar as necessidades da população com o produto ofertado pelo biodigestor e traçar um padrão de consumo médio das famílias atendidas.

4.2. Método de Tomada de Dados

Esta etapa descreve a sistemática para obtenção dos dados necessários para o desenvolvimento do trabalho. Um ponto crucial para esse projeto é determinar a produção de lixo orgânico pelas famílias entrevistadas. A metodologia apresentada provém de pesquisas bibliográficas e experiências práticas.

Nesta parte será apresentado o método usado para determinar quantidade de lixo orgânico gerado por um grupo pequeno de famílias e as dificuldades encontradas.

4.2.1. Método para um grupo restrito

Sabe-se da existência de um método para estimar a produção de lixo, porém como este se trata para grandes populações, foi desenvolvido de maneira própria uma metodologia para a obtenção desses dados. Foi levado em consideração variáveis como: o perfil das famílias, uma vez que a produção de lixo orgânico está

diretamente ligado com a rotina e o número de membros de cada família, o método de abordagem, e como isso impactará na qualidade dos resultados, e na aceitação das pessoas a esse projeto.

Esta etapa refere-se ao que realmente foi feito junto à comunidade do Jardim Conceição. Estimar a produção de lixo orgânico para uma amostra de 10 famílias durante um período de sete dias.

O método consistiu basicamente em fornecer um recipiente adequado para que as famílias participantes da pesquisa depositassem o lixo orgânico produzido, e após um período de sete verificar quanto de lixo foi produzido.

4.2.1.1. Seleção de famílias

As famílias participantes do levantamento de dados não devem ser escolhidas aleatoriamente. A produção de lixo de cada família pode variar muito de uma para outra, uma vez que elas podem diferir entre si em diversos aspectos. Os fatores relevantes na escolha das famílias são:

- **Número de membros:** garantir que nessa amostra haja famílias com número de membros diversificados em ter si.
- **Perfil de famílias:** casais sem filhos, e com filhos (crianças e adultos), idosos.
- **Rotina diária:** com que frequência almoçam e jantam em casa?
- **Poder de compra:** mesmo estando em uma comunidade de baixa renda, o poder de compra de cada família pode variar muito, acarretando em maior ou menor geração de lixo.

Considerando que se pretende projetar um sistema que atenda a cerca de 40 famílias, foi definido que 10 famílias seria um espaço amostral suficiente porque para permitir a avaliação adequada da quantidade de lixo produzida.

4.2.1.2. Abordagem

Como a maioria das famílias selecionadas são compostas por pessoas simples, com pouca ou quase nenhuma instrução, termos como “lixo orgânico” e “biodigestão” não são do conhecimento dessas pessoas.

Um aspecto crucial para o sucesso do levantamento dos dados é garantir que as famílias selecionadas realmente depositem todos os resíduos orgânicos produzidos,

dentro do recipiente fornecido. Uma alternativa eficaz para diminuir a falta de conhecimento nesse assunto, e garantir que as famílias procedam da maneira correta em relação ao manejo dos resíduos orgânicos, foi elaborar um panfleto de instrução (anexo 01) explicando de forma simplificada, e com exemplos comuns, o que é definido como lixo orgânico e o que não é. Outro panfleto também foi criado para descrever o projeto em linhas gerais e quais os benefícios que ele poderia gerar para a comunidade (anexo 02)

As famílias que aceitarem participar da pesquisa receberam um saco de lixo reforçado de 40 litros para depositar os resíduos, além de uma caixa de papelão reforçada para alojar o saco e evitar problemas como o aparecimento de ratos e outros animais. Esta caixa foi identificada com a frase “Somente lixo orgânico” para servir de aviso para as famílias lembrarem constantemente de depositar os resíduos orgânicos dentro dela.

Cada recipiente recebe um número de controle, para que quando estas fossem recolhidas para pesagem fosse possível associar qual recipiente pertencia a cada família.



Figura 6 - Recipiente fornecido para as famílias para o depósito de lixo orgânico

4.2.1.3. Cadastramento e questionário

Para cada família que aceitou participar da pesquisa foi preenchido um cadastro (anexo 03), contendo as seguintes informações: nome da pessoa à quem foi apresentado o projeto, endereço da residência e qual o número de controle do

recipiente deixado com a família. Além disso foi perguntado qual o número de membros da família, qual a duração média de um botijão de gás e se o gás é utilizado para mais algum outro fim além de cozinhar.

4.2.1.4. Período de coleta

O período ideal de coleta de lixo orgânico é de sete dias. Chegou-se a esse período por causa de dois motivos principais. O primeiro é que a produção de lixo orgânico diária não é igual. Durante os dias úteis da semana a tendência é que a produção de lixo orgânico seja menor do que no fim de semana, considerando que durante a semana os membros da família trabalham fora e raramente almoçam em casa. O período de sete dias é razoável porque engloba dias úteis e os fins de semana.

Outro fator levado em consideração é que lixo orgânico estraga rapidamente e por isso não deve ser armazenado por muito tempo.

4.2.1.5. Coleta e pesagem

Após os sete dias, retornou-se para buscar os recipientes com o lixo orgânico produzido pelas famílias. A pesagem foi feita usando uma balança comum, e antes da pesagem realizou-se uma análise prévia do conteúdo dos recipientes para verificar se realmente foi depositado somente lixo orgânico.

A pesagem pode ser feita “in loco” ou os recipientes podem ser recolhidos para serem analisados de forma mais minuciosa e posteriormente pesados.

4.2.2. Pesquisa de Campo

A primeira visita ao Jardim Conceição foi feita dia 23 de maio. A intenção dessa visita era conhecer de perto a comunidade e procurar um líder comunitário ou associação de moradores para apresentar o projeto Poli Cidadã, além de obter informações gerais sobre a comunidade e facilitar a aproximação com os demais moradores da comunidade para o levantamento de dados.

Com a ajuda de moradores locais encontramos a Associação Santa Fé dos moradores do Jardim Conceição, localizada na praça de esquina da Rua Cearense com a Rua Paulista, dirigida pelo líder comunitário Samuel Cardoso Pereira. Com a ajuda dele foi possível definir qual o melhor local e famílias a serem abordadas.

Foram definidas duas ruas para abordar as famílias para participarem da pesquisa, a viela A e a viela B. Deve-se deixar claro que as residências visitadas estão em lugares ocupados irregularmente, portanto não possuem um logradouro regular. Nessas duas vielas foi possível notar a diferença entre as condições de vida

das famílias abordadas. Algumas apresentaram condições básicas de vida, enquanto outras vivem em situação de pobreza extrema.



Figura 7 – Vielha A



Figura 8 – Vielha B

4.2.2.1. Coleta de Dados

No dia 30 de maio, retornou-se à comunidade para abordagem das famílias nas vielas A e B. Essa abordagem foi feita juntamente com o líder de comunidade Samuel.

Utilizando os panfletos de instrução, o projeto era explicitado, e ao aceitar participar da pesquisa cada família recebeu um recipiente para depósito de lixo. Após sete dias, voltamos mais uma vez à comunidade do Jardim Conceição, desta vez para pesar os recipientes. Preferiu-se fazer a análise e pesagem dos recipientes “in loco”, porque não dispúnhamos de um veículo adequado para transportar os resíduos.



Figura 9 – Abordagem das Famílias

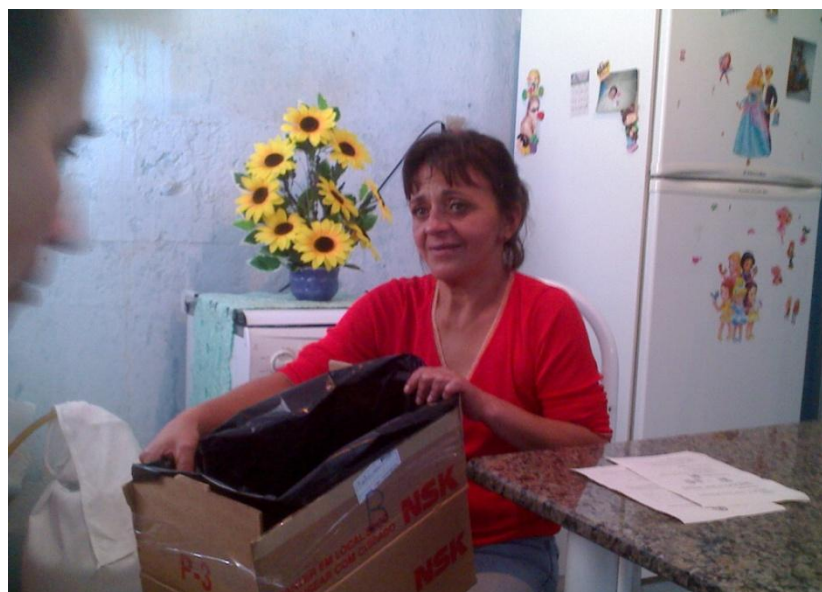


Figura 10 – Explicação do projeto e entrega dos recipientes



Figura 11 – Pesagem dos recipientes após sete dias

4.3. Resultados da Coleta de Dados

Os resultados obtidos na coleta de dados podem ser vistos na Tabela 1 e na Figura 20. Um aspecto que pode ser verificado nessa tabela, e que pode ter sido motivado por falta de instrução ou por algum outro motivo, foi que algumas famílias não seguiram as instruções que foram passadas de depositarem apenas o lixo orgânico gerado por sua própria família. Outras não depositaram regularmente e ficaram com quantidades muito baixas.

Tabela 1 - Resultados das pesagens dos recipientes após sete dias

Família	No. de pessoas na família	Biomassa recolhida no período (g)	Biomassa por pessoa por dia (g)	Duração do botijão de gás (meses)	Duração do botijão de gás por pessoa (meses)
1	3	1000	48	4	1,3
2	3	0	0	0,5	0,2
3	3	5600	267	2	0,7
4	7	0	0	1	0,1
5	4	2500	89	1,5	0,4
6	1	3100	443	6	6,0
7	6	500	12	1	0,2
8	1	700	100	6	6,0
9	4	7000	250	2	0,5
10	4	1200	43	3	0,8
11	1	500	71	4	4,0

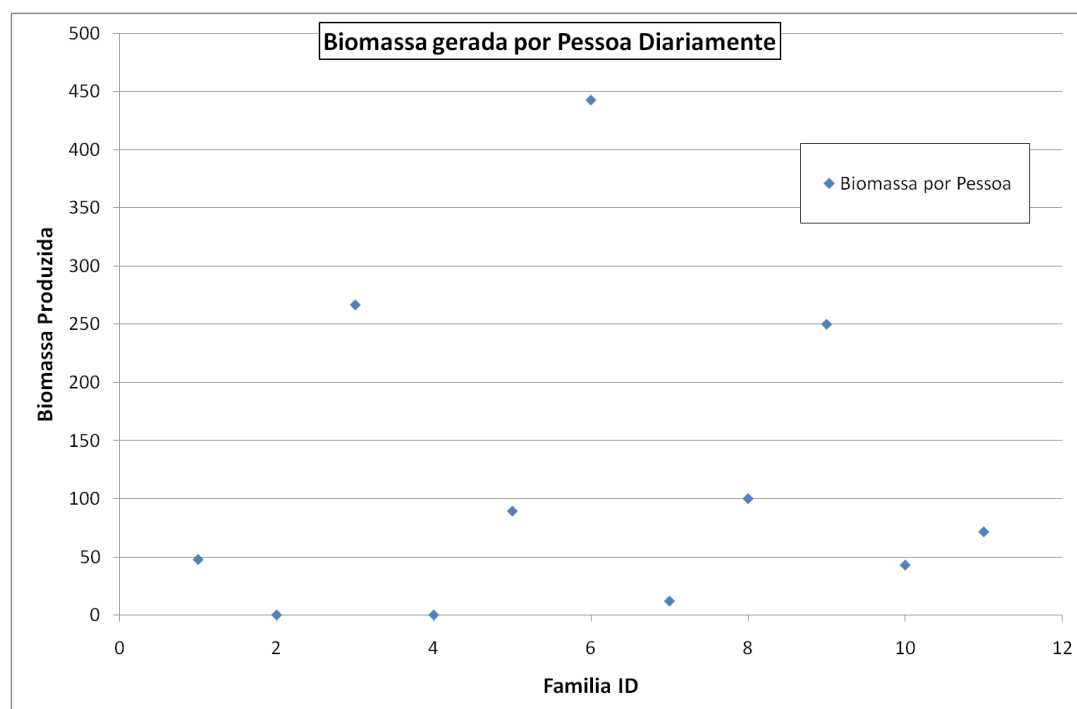


Figura 12 - Dispersão nos resultados

Assim, em função da dispersão observada, os dados das famílias que não coletaram o lixo orgânico e das que coletaram lixo de outras famílias foram descartados. Feita a seleção dos valores que ficam dentro de uma faixa em torno da média, chegamos então a 6 famílias que puderam ter seus dados utilizados com maior confiabilidade. A partir dos valores mostrados na Tabela 2 e na Figura 21, pudemos perceber que nessas famílias temos uma maior uniformidade dos valores médios por pessoa.

A partir dos resultados obtidos verificamos que a produção diária de lixo orgânico é da ordem de 60 gramas por pessoa, e que cada pessoa consome em média 1,5 m³ de biogás na forma de gás de cozinha por mês.

Tabela 2 - Resultados expurgados das pesagens dos recipientes após sete dias

Família	No. de pessoas na família	Biomassa recolhida no período (g)	Biomassa por pessoa por dia (g)	Duração do botijão de gás (meses)	Duração do botijão de gás por pessoa (meses)
1	3	1000	48	4	1,3
2	4	2500	89	1,5	0,4
3	6	500	12	1	0,2
4	1	700	100	6	6,0
5	4	1200	43	3	0,8
6	1	500	71	4	4,0

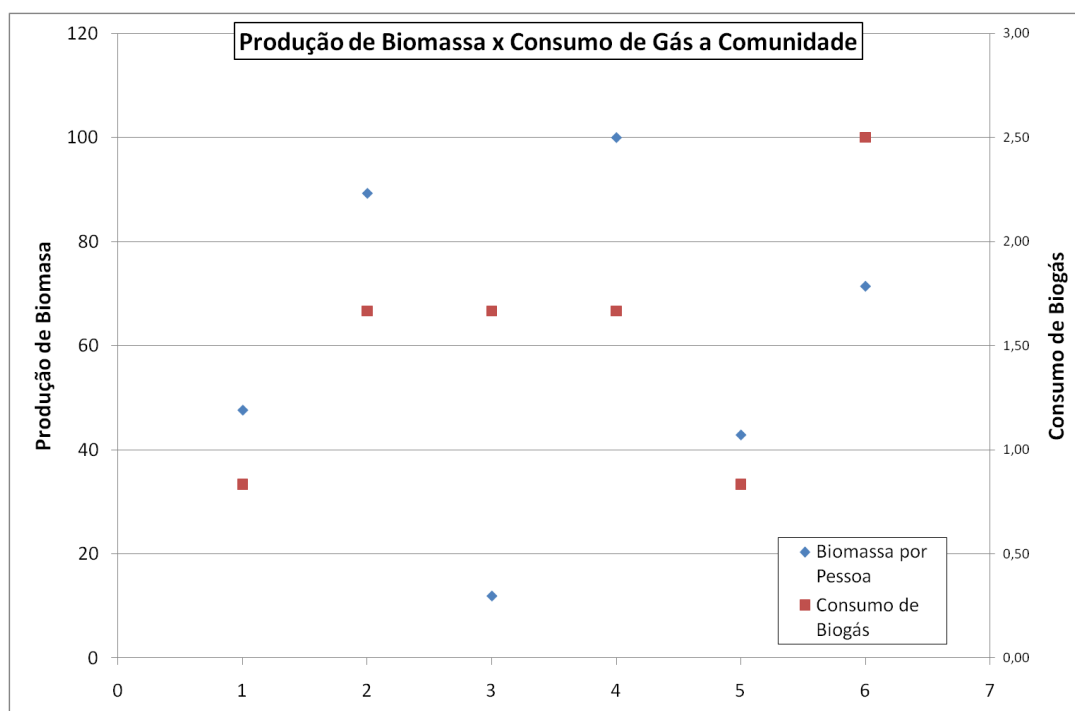


Figura 13 – Produção de biomassa e consumo médio de GLP por pessoa

5. Definições Preliminares

5.1. Definição do tipo de biodigestor

Esta etapa definiu qual o modelo de biodigestor é mais adequado para ser instalado na comunidade, por meio da matriz de decisão apresentada na Figura 22.. Os critérios da matriz foram definidos a partir de análises em estudos de caso para a instalação para cada um dos tipos de biodigestores apresentados.

O biodigestor da marinha foi excluído da análise. Sua utilização é vantajosa somente para grandes produções de biogás, e como apresenta uma campânula feita de plástico maleável, está mais suscetível a danificações, por isso deve ficar afastado de lugares com grande concentração populacional. Esses fatores justificam seu largo uso em propriedades rurais.

Os critérios considerados são apresentados a seguir:

- **Tamanho** – Como o projeto está situado numa área de grande concentração populacional, espaços livres são difíceis de encontrar, por isso a instalação do biodigestor não deve requerer muito espaço. O local escolhido de instalação do biodigestor é público e desocupado. **Peso 1**
- **Custos** – Os custos de instalação e manutenção não devem ser altos, uma vez que os recursos disponíveis para execução do projeto são escassos. **Peso 3**
- **Funcionamento** – Esse critério abrange o modo como o biodigestor funciona, se é abastecido diariamente ou em períodos determinados e a viabilidade de funcionamento do biodigestor em questão dentro da comunidade. **Peso 4**
- **Operação** – Pondera a facilidade de operação do biodigestor. **Peso 2**
- **Segurança** – Os biodigestores estão próximos de residências, por isso a segurança é um critério importante, uma vez que eles estão sujeitos a altas pressões e o biogás é altamente inflamável. **Peso 3**
- **Eficiência** – Considera a eficiência na produção de biogás para uma mesma quantidade de biomassa, variando-se o tipo de biodigestor. **Peso 2**

Os pesos atribuídos a cada critério foram: 1 – irrelevante; 2 – relevante; 3 – muito relevante; e 4 – indispensável. Esses pesos foram definidos em função da significância dos critérios para a decisão do tipo de biodigestor a ser empregado. As notas atribuídas na matriz de decisão vão de 1 a 5, sendo que nota 1 significa não atender ao critério, e nota 5 significa atender plenamente o critério em questão.

A matriz de decisão indicou que dos tipos considerados o biodigestor mais adequado para ser instalado na comunidade é do tipo batelada.

Tabela 3 - Matriz de decisão

	Modelo chinês	Modelo indiano	Batelada
Tamanho (peso 1)	3 3	3 3	3 3
Custos (peso 3)	4 12	2 6	3 9
Funcionamento (peso 4)	2 8	2 8	5 20
Operação (peso 2)	3 6	3 6	4 8
Segurança (peso 3)	3 9	4 12	3 9
Eficiência (peso 2)	2 4	3 6	4 8
TOTAL	42	41	57

5.2. Local de instalação

Definir o local de instalação para um biodigestor é uma etapa importante desse projeto. O lugar onde o biodigestor é instalado influencia em aspectos como a produção e transporte do biogás e o bem estar daqueles que vivem próximo a ele.

Segundo Cristina apud Nogueira, a área onde será instalado o biodigestor deve atender alguns requisitos:

- **presença de lençol freático e instalações subterrâneas** – lençóis freáticos e instalações subterrâneas como tubulações podem impedir a alocação do biodigestor;
- **proximidade de casas** – a biomassa que abastece o biodigestor é altamente putrescível e o processo de biodigestão gera gases de enxofre, tornando o ambiente envolta muito fétido. Além disso a campânula do biodigestor que armazena o biogás fica sujeita a altas pressões e podem ocorrer explosões. Devido a esses fatores, o biodigestor não pode ser instalado muito próximo das residências. Recomenda-se uma distância mínima de 20 metros;
- **facilidade de transporte de biogás** – Em oposição ao requisito anterior, o biodigestor não pode ficar muito afastado das residências, para que não

seja necessária a instalação de longas tubulações. Recomenda-se que a distância não ultrapasse 100 metros.

Considerando que o Jardim Conceição é altamente ocupado, com poucos terrenos livres e que o projeto buscar ter o menor custo possível, foi definido que o local de instalação deve ser um terreno público, ou uma praça.

5.2.1. Definição do local

Próximo das Vuelas A e B, lugar onde moram as famílias que serão beneficiadas pelo biogás, existem dois terrenos públicos, a Praça Paris e um terreno com aspecto de praça sem identificação.



Figura 14 – Praça Paris



Figura 15 – Possível terreno para implementação

A Praça Paris é um terreno bem próximo as Vuelas A e B, mas as características desse terreno não são favoráveis para instalação do biodigestor, uma vez que é um terreno muito acidentado e com grande circulação de pessoas.

O segundo terreno apresenta condições mais favoráveis para a instalação do biodigestor porque não é acidentado, está abandonado, a circulação de pessoas é bem menor, as casas mais próximas estão a cerca de 20 metros de distância, e as Vuelas A e B estão cerca de 150 metros de distância. Após contato com a prefeitura de Osasco verificamos que o terreno não apresenta instalações subterrâneas, sendo um terreno público para o qual, segundo a prefeitura, existem planos futuros para transformá-lo numa praça.

5.3. Destino do biogás produzido

Para definir o destino do biogás produzido compararemos os valores necessários para os dois possíveis usos do biogás pela comunidade: a conversão para energia elétrica e posterior distribuição para os moradores da comunidade, e a distribuição do biogás para utilização como gás de cozinha.

Um fator determinante para essa definição foi a estimativa de volume de biogás produzido e a demanda por gás de cozinha. Enquanto a demanda por gás de cozinha é da ordem de 1m^3 por mês, para abastecer uma residência precisamos de uma ordem de 1m^3 de biogás ao dia. Assim, a melhor solução é a conversão do biogás em energia elétrica, apesar do fato de a implementação/operação de um gerador incrementar a complexidade de operação do sistema.

6. Solução Escolhida para o Biodigestor

Como mostra a Tabela 3, para o presente caso a melhor configuração para o biodigestor é um do tipo batelada. Os sistemas em batelada são como aterros sanitários “*in-a-box*” (VANDEVIERE; BAERE; VERSTRAETE, s.d.).

Os biodigestores são preenchidos com resíduos orgânicos, com ou sem material inoculante, e fechados, passando então por todas as fases da biodigestão, em ambiente de alta concentração de sólidos totais (30% a 40%). Esses sistemas podem apresentar taxas de geração de biogás que chegam a 50 e até a 100 vezes as observadas nos aterros sanitários, (AMARAL, 2004 *apud* VANDEVIERE; BAERE; VERSTRAETE, s.d.).

A principal diferença do biodigestor de batelada para os demais é que ele não possui fluxo contínuo, ou seja, não é abastecido de biomassa diariamente, essa característica o torna muito mais vantajoso em lugares onde a produção de biomassa e a necessidade de biogás é baixa.

Os custos de investimento dos sistemas batelada são cerca de 40% menores que dos sistemas contínuos e seus custos operacionais parecem comparáveis aos dos outros sistemas (AMARAL, 2004 *apud* VANDEVIERE; BAERE; VERSTRAETE, s.d.), e esse tipo de biodigestor possui eficiência semelhante ao modelo indiano que é maior que o modelo chinês.

Detalharemos a seguir a solução encontrada.

6.1. Aspectos Construtivos do biodigestor

O modelo de batelada é formado basicamente por um corpo cilíndrico, um gasômetro flutuante e uma estrutura para guia do gasômetro, que poderá ser adotado um sistema de trave e roldana, tratando-se de um sistema simples e não exigindo uma preocupação operacional.

Sua operação poderá ser um tanque anaeróbico ou vários, em série, dependendo da demanda do biogás, da disponibilidade e da qualidade da matéria prima utilizada.

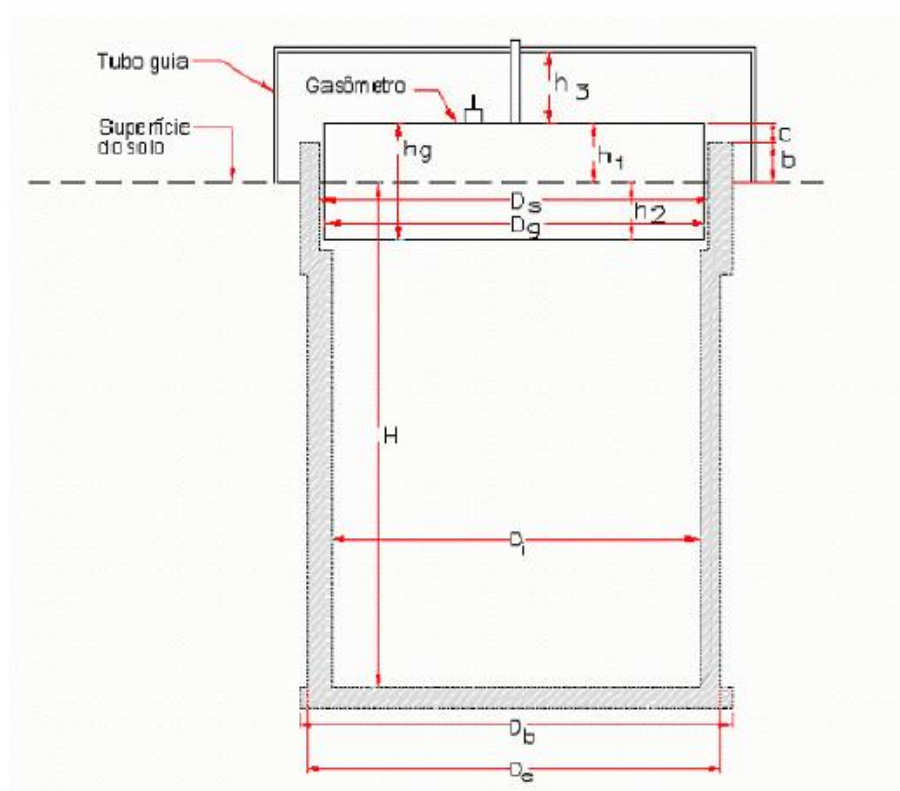
O biodigestor de batelada possui um período de encubação da matéria orgânica. Uma vez introduzida deve-se esperar o fim do ciclo de digestão para se acrescentar nova matéria prima. Isso fez com que se desenvolvessem biodigestores seriados. Diferentemente do modelo simples, os produtos dessa versão são ligados em série sendo que os tanques possuem intervalos defasados, o que faz com que seja dividido o tempo de incubação proporcionalmente ao número de tanques de biodigestão.

Segundo GORGATI; JUNIOR (s.d.), no caso do biodigestor de batelada um ciclo médio ideal de operação é de 70 dias. No nosso caso, devido a oferta de biomassa ser basicamente diária (pois produzimos lixo orgânico naturalmente) não

seria adequado fazer um biodigestor simples, pois nesse caso teríamos que esperar o fim do estágio de biodigestão para podermos reabastecê-lo.

A solução foi então dividir o biodigestor em vários mini-biodigestores com capacidades reduzidas, com ciclos defasados em 7 dias (período razoável para acumulação de matéria prima). Faz-se necessário então o uso de 10 unidades (bateria de biodigestores) para cobrir todo o intervalo de 70 dias de processo. (Eq. 34).

Foi considerado um teor de 8% de substrato no biodigestor, e utilizou-se o dimensionamento proposto por Portes (2006), Figuras 14 e 15.



onde,

H → Altura do nível do substrato

h_1 → Altura ociosa do gasômetro

h_2 → Altura útil do gasômetro

h_3 → Altura livre para o deslocamento do gasômetro

h_g → Altura do gasômetro

c → Altura do gasômetro acima da parede do biodigestor

b → Altura da parede do biodigestor acima do nível do substrato

D_i → Diâmetro interno do biodigestor

D_g → Diâmetro do gasômetro

D_b → Diâmetro da base

D_e → Diâmetro externo da parede inferior

D_s → Diâmetro interno da parede superior

Figura 16 – Parâmetros para dimensionamento do biodigestor (Portes, 2006)

$$N = \frac{PUF}{PBC}$$

$$CB = B \cdot PBC$$

$$PBPEP = \frac{BPEP}{PEP}$$

$$PBB = PBPEP \cdot PBC \cdot N$$

$$E_u = \frac{CB}{PBB}$$

$$E_s = E_u \cdot S_{t1}$$

$$W = \frac{E_s}{S_{t2}}$$

$$V_d = \frac{W}{1000}$$

sendo:

N = número mínimo de unidades biodigestoras (deve ser um número inteiro, quando isso não acontece, deve-se aproximar para maior)

CB = Consumo de biogás durante o período base para os cálculos (m³)

B = Volume de biogás necessário por dia (m³)

BPEP = Produção de biogás durante o período efetivo de produção (m³)

PBB = potencial em biogás da bateria (representa a produção de biogás por kg de biomassa)

PBPEP = Potencial em biogás da biomassa durante o período efetivo de produção

PBC = Período base para o cálculo (dias)

E_u = biomassa ou biomassa úmida, ou “in natura”, que é utilizada para a formulação do substrato (kg).

V_d = volume útil da unidade biodigestora (m³)

E_s = biomassa seca que se pretende colocar no biodigestor (kg)

S_{t1} = Taxa de sólidos da biomassa

Figura 17 – Equações para dimensionamento do biodigestor (Portes, 2006)

Como destacado por Portes (2006), o biodigestor de batelada possui características físicas bem semelhantes as do biodigestor indiano, sendo assim importante calcular as dimensões h₁, h₂ e h₃ por:

$$h_1 = b + c$$

$$h_3 > h_2$$

$$h_g = h_1 + h_2$$

onde,

b = altura da parede do biodigestor acima do substrato (m), devendo obedecer aos mesmos critérios usados para o modelo indiano

c = altura do gasômetro acima da parede do biodigestor e deve ser suficiente para garantir o perfeito funcionamento da roldana

h_3 = altura livre para deslocamento do gasômetro (m)

h_g = altura total do gasômetro (m)

A determinação e ajuste dos valores D_i , H , D_g , D_s , h_1 e h_2 , seguem o mesmo processo utilizado para o modelo indiano.

Figura 18 – Equações para cálculo de h_1 , h_2 e h_3 para o biodigestor (Portes, 2006)

6.1.1. Aspectos operacionais

Antes dos resíduos orgânicos coletados serem inseridos no biodigestor, eles devem passar por um processo de trituração, já que a produção de biogás do lixo triturado é maior do que em seu estado “in natura” (GORGATI; JUNIOR, s.d.).

O processo de biodigestão não ocorre a seco, por isso adiciona-se água e um inoculante (lodo de esgoto) dentro do biodigestor, formando o substrato. O sólido presente no substrato deve corresponder a 20% do volume total. Segundo AMARAL em alguns casos pode-se atingir 30 % ou mais de sólidos totais, num processo conhecido por biodigestão “seca”.

Uma vez abastecido, o biodigestor é fechado e só será reaberto após a completa biodigestão do substrato, processo que leva cerca de 70 dias. Justamente pelo fato do processo ser muito longo, utiliza-se uma bateria de biodigestores

6.2. Avaliação de Produção

Tomando nossa porcentagem de biomassa/água de 10% e o período do processo de 70 dias, podemos lançar mão dos dados experimentais de GORGATI; JUNIOR, (s.d.) para estimar a produção de Biogás em nossa bateria de biodigestores.

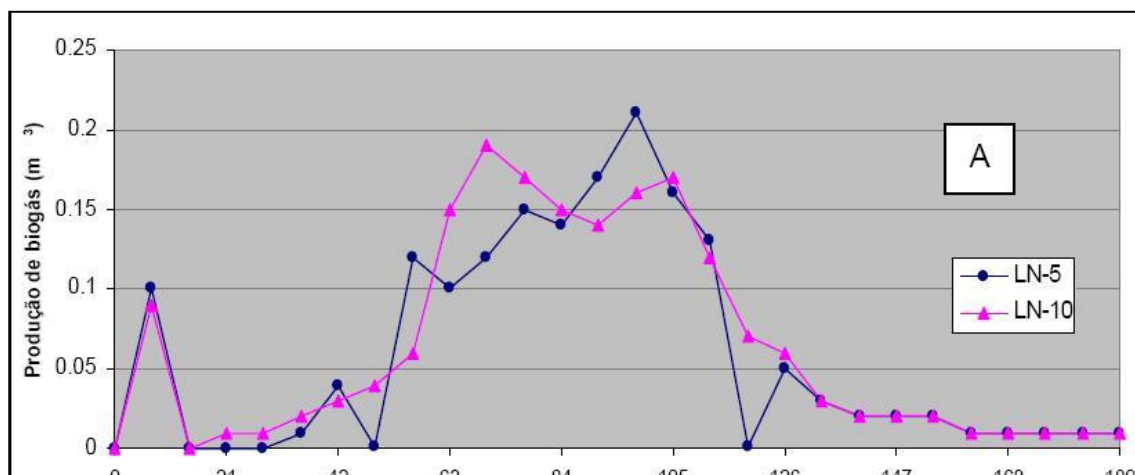


Figura 19 – Produção de Biogás absoluta por dia de processo (GORGATI; JUNIOR, s.d.)

Em seu estudo, GORGATI; JUNIOR (s.d.), trabalhando com 60 kg de substrato (desses aproximadamente 20% em volume de biomassa) chegaram a uma produção final de gás para 189 dias de processo de 0,1395 m³ de biogás por kg de lixo *in natura*, ou seja, lixo orgânico não triturado.

Traçando um paralelo com nossa situação, onde temos um período de 70 dias de processo da matéria orgânica, percebemos pelo gráfico da figura 18 que temos aproximadamente 60% do gás potencial total produzido. Convertendo os resultados obtidos para nossos valores chegamos portanto a uma produção de 0,0838 m³ de biogás produzido para cada 1 kg de lixo orgânico que dá entrada no biodigestor.

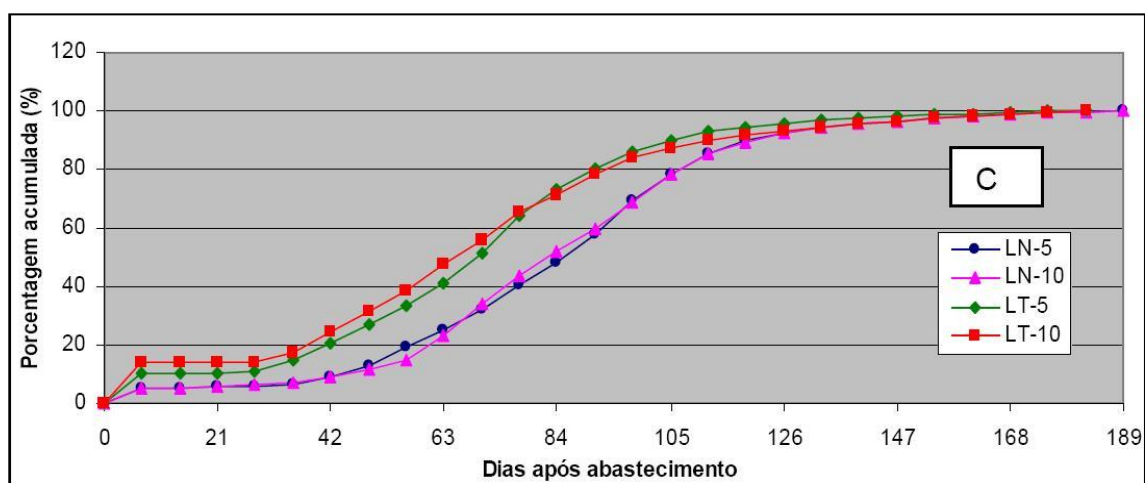


Figura 20 – Porcentagem de biogás produzida (GORGATI; JUNIOR, s.d.)

Trabalhando com nossa potencial fonte de matéria prima, que como exposto anteriormente é de 60g gramas de lixo orgânico produzido por dia por pessoa, chegamos a uma produção diária de 0,05 m³ de biogás, e um total de 1,5 m³ de biogás mensal por pessoa.

7. Alternativas para Uso do Biogás

Após nosso estudo visando encontrar uma estimativa para a produção de biogás, verificamos que o valor de $0,05\text{m}^3$ por habitante é pequeno frente ao consumo médio de uma residência de baixa renda, e assim ficamos distante da proposta inicial de tornar as famílias auto-suficientes de eletricidade por meio do biogás por elas produzido.

Contudo, ainda assim a instalação do dispositivo poderia trazer enormes benefícios para a comunidade se um aproveitamento comum for definido adequadamente. Dessa forma, temos como discussão seguinte alternativas para o aproveitamento do gás gerado pelo dispositivo.

Um exemplo bem sucedido de empregabilidade de um biodigestor em comunidades carentes foi implementado na cidade de Petrópolis (RJ), onde numa situação paralela a que encontramos no Jardim Conceição foram instalados biodigestores em comunidades com rede de coleta de esgoto precária por iniciativa da ONG Instituto Ambiental.

No projeto executado em Petrópolis, a ONG destinou o biogás proveniente do processo para gerar energia consumida em residências. Assim como os resultados atingidos por nós anteriormente, a ONG emprega o biogás gerado por dez residências para abastecer uma. Como parte do projeto da ONG, porém não discutido no nosso caso, o lodo proveniente do processo é ainda utilizado como fertilizante para cultivos locais. Maiores detalhes sobre esse projeto podem ser encontrados em anexo este trabalho.

7.1. Utilizaçãodo biogás produzido para abastecer a demanda por gás de cozinha

A solução encontrada num primeiro momento que parecia viável precisa agora ser revista, dado que o biogás produzido não geraria uma auto suficiência para as residências. Como já descrito anteriormente, nessa solução o biogás gerado por cada dez famílias supriria o consumo energético de uma única família e por se tratar de famílias de baixa renda, a escolha da família beneficiada seria o ponto mais crítico da solução.

7.2. Utilização do biogás produzido para fins comunitários – Posto de saúde

Utilizar o biogás para fins comunitários parece ser uma alternativa justa, já que teoricamente todos se beneficiariam da produção, diferentemente de alternativas individuais. Neste caso o biogás seria direcionado ao posto de saúde da comunidade que se encontra nas proximidades do local de implantação do biodigestor.

A utilização do biogás no estabelecimento poderia ser de duas formas: gerando eletricidade para ser usada em alguma atividade específica ou sendo usado como gás de cozinha do posto de saúde.

Esta ultima é mais viável por ter uma demanda menor do que a segunda, mesmo que para um setor específico.

7.3. Utilização do biogás produzido para fins comunitários – Sociedade Amigos do Bairro

Aqui converteríamos o biogás gerado em prol da comunidade representada pela Sociedade Amigos do Bairro Jardim Conceição, da qual o presidente – Samuel – nos vem acompanhando durante os processos de interação junto à comunidade.

É uma alternativa muito mais viável pela própria escala que se trata. Em se tratando de eletricidade a sociedade tem um consumo modesto pelo baixo numero de aparelhos eletrônicos e pelo próprio tamanho reduzido.

7.4. Utilização do biogás produzido para iluminação pública

Pelo fato de ser um bairro carente de alguns serviços básicos, a iluminação publica também deixa a desejar, logo seria uma opção plausível. Porém, novamente devido à baixa oferta de biogás, a iluminação seria restrita talvez a um ou dois postes no máximo.

Nessa solução a opção mais viável seria a utilização de lamparinas a gás, que seria mais barata do que a conversão para energia elétrica para depois iluminar o poste.

8. Escolha da solução aplicada

Visto que, como saldo da primeira parte do relatório, a oferta de biogás é pequena frente à necessária para se implementar qualquer uma das soluções propostas, temos como fator determinante escolher a que menos consome biogás.

Analizando solução a solução, já podemos descartar a opção de fornecimento de gás de cozinha, por mobilizar dez vezes a população atendida. A melhor opção é utilizar soluções comunitárias, e dessas a mais razoável parece ser a de alimentação de energia à Sociedade Amigos do Bairro, visto que a de iluminação Pública pela própria escala do biogás fornecido é muito parcial e a do posto de saúde esbarra também no problema de risco de falta de oferta.

Sendo assim, a solução a ser aplicada será o fornecimento elétrico para a Sociedade Amigos do Bairro Jardim Conceição. Para tanto devemos fazer dois levantamentos, o consumo de energia elétrica da entidade de acordo com os aparelhos eletrônicos disponíveis e o potencial de geração proveniente do biogás por família para assim chegar num número de famílias necessárias para suprir a demanda energética do local.

8.1. Estimativa de consumo de Energia da Solução

Levantados todos os aparelhos eletrônicos utilizados na entidade chegamos a uma estimativa prévia de consumo que iremos posteriormente checar se é compatível com a oferta de biogás que temos disponível.

Tabela 3 - Consumo de energia

	Quantidade	Potência Média (W)	Uso diário (h)	Energia Gasta (kW.h)
Computador + Impressora	1	180	4	0,72
Lâmpada	4	60	12	2,88
Aparelho de Som	1	20	2	0,04
Aparelho de Fax	1	30	2	0,06
Telefone sem fio	1	10	2	0,02
		480		3,72

Para suprimos essa demanda de 3,7 kW.h por dia com uma potência média de 480 W lançaremos mão de um gerador, estudado no capítulo seguinte, que será alimentado com o biogás e fará a conversão de energia térmica da combustão desse gás em energia elétrica.

9. Aspectos operacionais da geração de energia

Após o processo de geração do biogás dois sistemas fundamentais são o gasômetro (onde o gás é armazenado para alimentação do motor) e o conjunto gerador (no qual está contido o motor).

9.1. O Motor

9.1.1. Tecnologias para conversão de biogás em energia elétrica

Existem diversas tecnologias para realizar a conversão energética do biogás. Entende-se por conversão energética o processo que transforma um tipo de energia em outro. No caso do biogás a energia química contida em suas moléculas é convertida em energia mecânica através do processo de combustão que por sua vez aciona um gerador que transforma energia mecânica em energia elétrica.

- **Turbinas a gás**

Essas turbinas para geração foram desenvolvidas a partir das turbinas de aviação. Elas são compostas por um compressor de ar, câmara de combustão e a turbina propriamente dita, o compressor é acionado pela própria turbina. Nesse tipo de turbina o dimensionamento é feito para que os gases de exaustão saiam em baixa velocidade, aumentando a geração de energia da turbina, com isso se obtém um excedente de energia para o gerador.

Existem modelos adaptados para serem operados com biogás como os da Solar Turbines e do grupo Caterpillar (WYLEN,2003).



Figura 21 – Turbina a gás (Solar Turbines,2009)

- **Microturbinas a gás**

As microturbinas são pequenas turbinas que operam na faixa de 20 a 250 kW, com elevadas velocidades de rotação e com diversos tipos de combustíveis, como gás natural, biogás, GLP (gás liquefeito de petróleo), diesel e querosene.

Nas microturbinas o ar é aspirado e forçado para o interior da turbina a alta velocidade e alta pressão, o ar é misturado ao combustível e queimado no combustor, esse processo de combustão é controlado para se obter a máxima eficiência e baixos níveis de emissão. Os gases resultantes da queima sofrem expansão nas palhetas das turbinas, gerando trabalho e os gases não aproveitados são liberados para a atmosfera. A figura abaixo 28 mostra os componentes do sistema de uma microturbina.

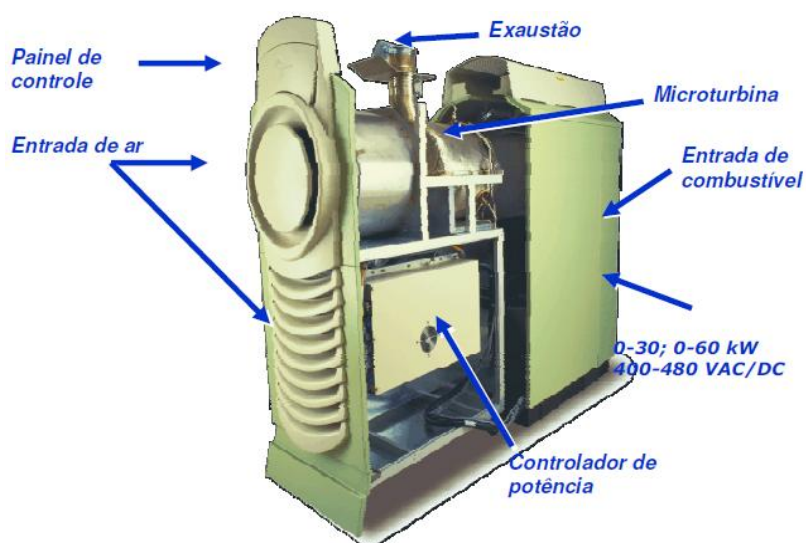


Figura 22 – Componentes de uma microturbina (Pecora, 2006)

- **Motores de combustão interna**

Em 1867, Nikolaus August Otto, um engenheiro alemão, desenvolveu o ciclo Otto de quatro tempos, que é largamente utilizado em transportes até os dias de hoje. O motor a diesel surgiu em 1892, através de outro engenheiro alemão, Rudolph Diesel.

O motor a diesel é projetado para ser mais pesado e mais potente do que motores a gasolina, eles são usados em máquinas pesadas, locomotivas, navios e em alguns automóveis. Aplicam-se tanto para a geração de energia elétrica com o acoplamento de um gerador ao motor, como também para a geração de energia mecânica. A figura 29 representa esquematicamente o funcionamento de um motor diesel

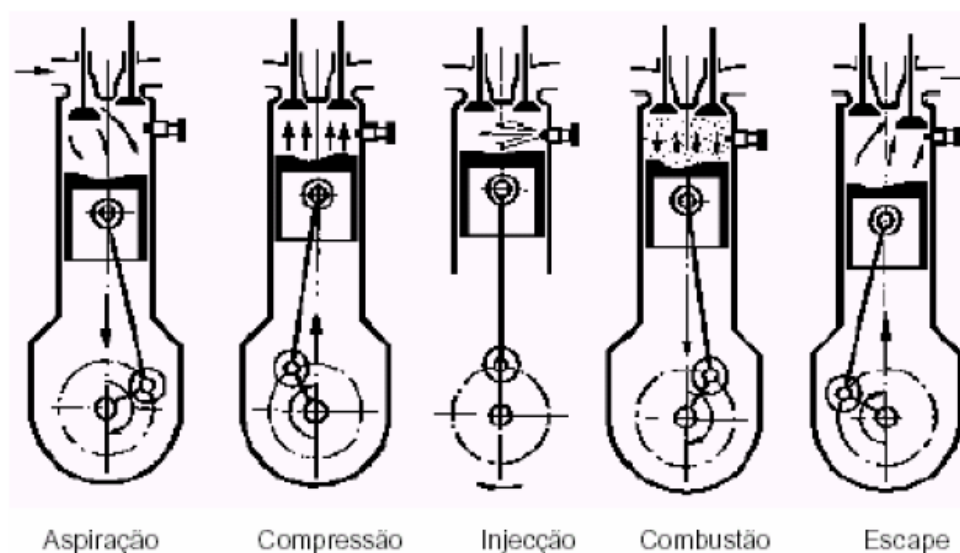


Figura 23 – Representação esquemática do funcionamento de um motor Diesel (Pecora, 2006)

A diferença básica entre o ciclo Otto e o ciclo Diesel está na forma em que ocorre a combustão. No ciclo Diesel, a combustão ocorre pela compressão do combustível na câmara de combustão, enquanto no ciclo Otto, a combustão ocorre pela explosão através de uma faísca. O motor de ciclo Otto opera em quatro tempos: **admissão, compressão, combustão e exaustão**. A figura 30 mostra de maneira esquemática o funcionamento de um motor de ciclo Otto de quatro tempos.

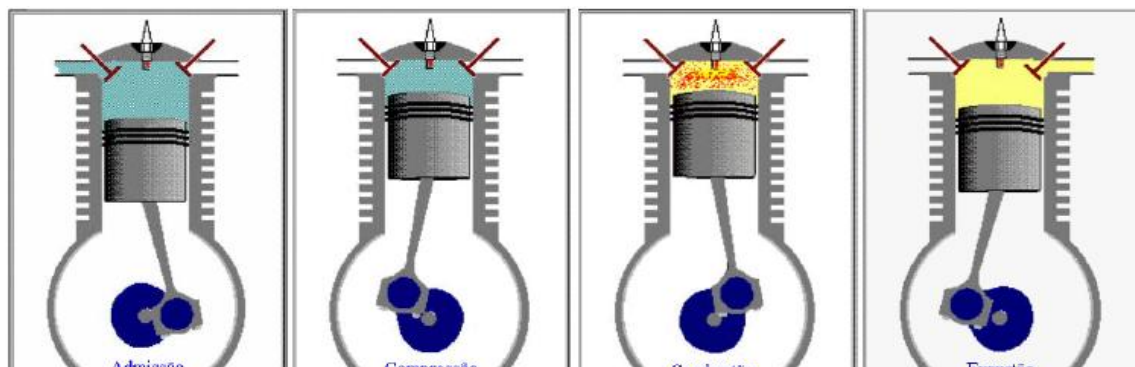


Figura 24 – Desenho esquemático de um motor Otto de quatro tempos(Pecora, 2006)

9.2. Tratamento prévio do biogás

A presença de substâncias não combustíveis no biogás, como água e dióxido de carbono prejudicam o processo de queima. Estas substâncias se misturam com o combustível absorvendo parte da energia gerada pela combustão. Além disso a maior parte dos biodigestores anaeróbicos produz biogás que contém entre 0,3 e 2% de gás sulfídrico (H_2S) que pode acarretar na corrosão precoce do motor. Dentro do biogás puro também pode ser encontrado grandes quantidades de marcaptanas e traços de nitrogênio e hidrogênio

Tabela 4- Técnicas de remoção de impurezas do biogás Fonte: Velazques, S; Avellar, M

IMPUREZA	MÉTODO	DETALHE
Água	Adsorção	Silica gel
		Peneira molecular
		Alumina
	Absorção	Etileno glicol
		Selexol
	Refrigeração	resfriamento a 2 °C
Hidrocarbonetos	Adsorção	Carvão ativado
		Óleo leve
	Absorção	Etileno glicol
		Selexol
	Combinação	Refrigeração com Etileno glicol e adsorção em carvão ativado
CO_2 e H_2S	Absorção	Solventes orgânicos
		Selexol
		Flúor
		Rectisol
		Soluções de sais alcalinos
		Potássio quente e potássio inibido
		Alcanolaminas
		Mono, di - tri etanol amina
		Deglicolamina
		Ucarsol -CR
	Adsorção	Peneira molecular
		Carvão ativado
	Separação por membranas	Membrana de fibra oca

Por se tratar de um projeto de pequeno porte e fator econômico ser um limitante na implantação desse projeto, o sistema de purificação será projetado visando diminuir a presença de água e H_2S do biogás gerado.

Um sistema de purificação de biogás de baixo custo foi implementado em um projeto de aproveitamento de biogás gerado pelo esgoto do Conjunto Residencial da

USP (CRUSP). Nesse caso o sistema de purificação é composto por dois compartimentos, o primeiro compartimento possui dois tipos de peneira molecular, sendo que uma delas visa à retirada da umidade e a outra à retirada do ácido sulfídrico (H_2S), e sílica gel azul, utilizada como indicador, pois quando saturada muda de cor. O segundo compartimento contém cavaco de ferro, visando assegurar a retirada de H_2S que possivelmente não tenha reagido com o primeiro elemento.



Figura 25 – Purificadores de biogás

Fonte: PECORA, 2006

9.3. Composição e potencial energético do biogás

O poder calorífico do biogás é dado pela presença de metano em sua composição, portanto determinar a composição química do biogás, em especial a porcentagem de metano presente é extremamente importante para obtenção de um valor de poder calorífico

Segundo PECORA a composição típica do biogás é cerca de 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, aminas voláteis e oxigênio, mas dependendo da eficiência do processo, influenciado por fatores como carga orgânica, pressão e temperatura durante a fermentação, o biogás pode conter entre 40% e 80% de metano.

NOGUEIRA & ZÜRN (2005) utilizam o valor médio de 58,5% de concentração de metano, já LUCAS JUNIOR encontrou, em média, 57,7% de CH_4 e 34,2 de CO_2 depois de analisar biodigestores do tipo chinês e indiano por um ano.

Para um maior detalhamento da composição do biogás gerado seria necessária uma análise em laboratório, como não é viável realizar esse tipo de análise no projeto em questão, consideraremos que o biogás gerado na comunidade é composto em 60% por metano

MITZLAFF cita as fórmulas para obtenção do poder calorífico (1) e massa específica do biogás (2)

$$H_B = \%CH_4 \cdot \rho_{CH_4} \cdot H_{CH_4} \quad (1)$$

Em que,

H_B – poder calorífico do biogás, kJ m^{-3}

ρ_{CH_4} – massa específica do metano, kg m^{-3}

H_{CH_4} – poder calorífico do metano, kJ kg^{-1}

$$\rho_{B,n} = \frac{0,72(\%CH_4) + 1,96(\%CO_2)}{100} \quad (2)$$

Em que,

$\rho_{B,n}$ – massa específica normal do biogás, kg m^{-3}

Considerando que para as condições normais de temperatura e pressão o metano apresenta os seguintes parâmetros termodinâmicos

$$\rho_{CH_4} = 0,72 \text{Kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad HI_{CH_4} = 50000 \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \quad HS_{CH_4} = 55545 \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$HI_B = 0,6 \cdot 0,72 \cdot 50000 = 21600 \text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$HI_B = 0,6 \cdot 0,72 \cdot 55545 = 23995 \text{kJ} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\rho_{B,n} = \frac{0,72(60) + 1,96(40)}{100} = 1,216 \text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

9.4. Conjunto Gerador

9.4.1. Dimensionamento

Da tabela 01 chegamos numa potência média dos aparelhos eletrônicos presentes na entidade, um potencia de 480 W para quando os aparelhos estão ligados simultaneamente. Para trabalhamos com uma certa margem acrescentamos 20% nesse valor e chegamos a um total arredondado de 600 W.

Um gerador com esta potência daria conta de abastecer a entidade, porém temos outros fatores a considerar nessa escolha. O mais crítico talvez seria o combustível com o qual estamos trabalhando. A maior parte dos conjuntos geradores disponíveis no mercado são alimentados a gasolina ou óleo diesel. Certamente teríamos uma perda de potencia nominal para alimentar esse gerador com biogás, além de todos os outros problemas de implementação já comentados na discussão sobre tratamento desse biogás para aplicação em motores.

A melhor alternativa para evitar essa situação que além de problemas operacionais certamente aumentaria o custo do conjunto seria então encontrar um conjunto gerador que já fosse nominalmente alimentado por biogás.

Encontramos um fornecedor de motores com uma linha específica alimentada por biogás, especificado no próximo item.

Tomando como base o consumo deste motor de aproximadamente 0,45 m³ de biogás por kW.h calculamos o numero mínimo de participantes do projeto para que seja atendida a demanda por biogás da entidade. O calculo é simples, são necessários 3,72 kW.h para atender o consumo da sociedade numa taxa de 0,45 m³/kW.h, são necessários portanto cerca de 1,8 m³ por dia para alimentar o gerador. Tomando a produção diária por pessoa chegamos num total de 36 pessoas para se produzir a quantidade necessária de biogás.

Tabela 5 - Avaliação de produção

Produção necessária de biogás (m ³)	1,8
Produção (m ³ /pessoa.dia)	0,05
Numero de pessoas	36

Resultado próximo da amostragem inicial de 10 famílias (40 pessoas) estimada.

9.4.2. Especificações do Gerador

Geradores elétricos de baixa potência a base de gasolina podem ser facilmente encontrados no mercado brasileiro. Devido o fato da prática do uso do biogás ser uma atividade incipiente no Brasil, não foi possível encontrar nenhum fornecedor de geradores de até 1Kw que utilizem biogás como combustível. Na grande parte dos projetos estudados, o biogás era utilizado para abastecer geradores adaptados à base de GLP ou gás natural a partir de 5 Kw de potência.

Porém como na China o uso de biogás é uma atividade comum, existem diversos fabricantes de geradores de baixa potência (menores que 2Kw) já prontos para o uso de biogás.

Para o projeto em questão o motor a ser usado é o *DF1500G* fabricado pela empresa chinesa *Guangzhou Dingfeng Machinery Co.Ltd* . Abaixo temos a figura do modelo de gerador em questão e a tabela de especificações fornecida pelo fabricante.



Figura 26 - DF1500G, gerador elétrico à biogás (Fonte: Guangzhou Dingfeng Machinery Co.,Ltd)

Tabela 6 - Especificações de gerador a biogás (Fonte: Guangzhou Dingfeng Machinery Co.,Ltd)

Natural Gas/LPG/Bio gas Generator Set	
Sample for LPG generator set DF1500G	
Generator specifications	
Max. Power(KW)	0,9
Rated Power(KW)	0,75
Rated Voltage (V)	220/110
Rated Frequency (Hz)	50/60
Power Factor Cos	1
Voltage Regulator Capacitance	
Engine specifications	
Engine Model	DF154FG
Type	Single cylinder, four-stroke, air cooled
Displacement (cc)	87
Fuel	NATURAL GAS/LPG/BIOGAS
Bore*Stroke(mm*mm)	54*38
Starting System	Recoil Starting
Noise Level at 7m (dB)	61
Ignition System T. C. I.	
Gas Consumption(m ³ /. Kw. H)	0,45
Package specifications	
Dimension(L*W*H) (mm)	460*370*385
Net/Gross Weight(Kg)	28/30

9.5. O Gasômetro

No dimensionamento do gasômetro devemos considerar basicamente dois parâmetros que são: volume diário necessário de biogás pelo motor do gerador e volume diário produzido de biogás pelos biodigestores.

Com a opção de se dividir o sistema numa bateria de 10 biodigestores feita no capítulo 06, tem-se a vantagem do curto espaço de tempo entre o fechamento de cada biodigestor, e com isso a diminuição dos estoques, entre outras vantagens. Além disso podemos retirar uma quantidade diária pequena de biogás.

Isso se dá pelo fato de que como estamos trabalhando com biodigestores em bateria, sempre estaremos retirando o gás daquele que já está no fim do processo de biodigestão, ou seja, já se passaram pelo menos 63 dias desde o fechamento da câmara e portanto do início do processo. Com isso podemos retirar gradativamente (uma quantidade menor de gás) o volume diário necessário para alimentar o motor do gerador. Como a bateria nos traz um ciclo de alimentação/retirada de uma semana – 7 dias – podemos trabalhar com um gasômetro de capacidade 1:7 (um sete avos) do biodigestor. Na tabela abaixo apresentamos o volume necessário para o dimensionamento do gasômetro.

Como veremos a seguir no tópico sobre dimensionamento, contaremos com a produção diária de biogás de 40 pessoas.

Tabela 7 - Produção diária de biogás

Numero de pessoas	40
Produção (m ³ /pessoa.dia)	0,05
Produção diária (m³)	2

Assim o gasômetro deve suportar um volume de até 2 m³. Mais informações construtivas assim como orçamentos desse dispositivo serão dados posteriormente no projeto.

10. Aspectos financeiros

10.1. Investimentos

Nesse tópico reuniremos todos os custos necessários para a implantação do sistema na comunidade. Sendo que na aquisição da bateria de biodigestores consideraremos duas hipóteses: a contratação de uma empresa especializada em biodigestores para a implantação do sistema e a compra dos materiais necessários avulsos para construção do biodigestor

A seguir listamos numa visão geral os principais gastos do projeto para o funcionamento do biodigestor:

Bateria de biodigestores – Composto por dez biodigestores de batelada ligados em série. Em projetos de grande porte normalmente são construídos de alvenaria, porém para projetos de menor porte como em questão podem ser usados tambores de aço.

Gasômetro – Local de armazenamento do biogás proveniente do processo. De fundamental importância para não haver qualquer tipo de vazamento do gás para o meio ambiente.

Triturador – Faz-se extremamente necessário para prepara prévio da matéria orgânica, pois como já explicado previamente a eficiência do sistema é maior quando o material é previamente triturado.

Local de coleta da matéria orgânica – Local apropriado para armazenamento do material orgânico antes de prepará-lo e depositá-lo no biodigestor.

Conjunto gerador – Responsável pela geração de energia elétrica a partir do biogás gerado.

Abrigo dos equipamentos – Local construído para abrigar os biodigestores, gasômetro e reservatório de coleta.

10.1.1. Bateria de Biodigestores

10.1.1.1. Construção Própria

Para construção manual do biodigestor listaremos os materiais necessários. Lembrando que a volume de matéria orgânica gerada por pessoa por dia é de 60g.

Usando esse valor e adotando a base seca de 20% em resíduos sólidos chegamos aos valores apresentados na tabela a seguir.

Tabela 8 – Capacidade Volumétrica

Volume de matéria orgânica produzido por pessoa	60 g
Numero de pessoas	40
Dias de ciclo do biodigestor	7
Porcentagem de resíduos sólidos	0,2
Volume minimo de cada unidade da bateria	84 L

Vemos que o volume mínimo de cada unidade da bateria é de 84 litros, porém como há a geração de biogás temos que considerar a expansão do mesmo, então trabalhamos com uma pequena margem o que nos permite utilizar tambores de 100 litros.

Necessitamos então dos seguintes materiais:

- ✓ 10 tambores de 100 litros
- ✓ 10 torneiras de 3/4" com rosca para mangueira
- ✓ 10 pedaços de cano galvanizado 3/4" x 20 cm
- ✓ 20 metros de mangueira cristal de 1"
- ✓ 10 pedaços de 2,5 metros de vergalhão de aço 3/8" galvanizado para confecção do agitador
- ✓ 10 pedaços de tela galvanizada de aproximadamente 80 x 80 cm

10.1.1.2. Contratação de empresa especializada

Após contato com algumas empresas do ramo chegamos num orçamento de uma empresa da Região Metropolitana de São Paulo que executa projetos de biodigestores. Nesse caso, por ser um projeto de pequeno porte, é importante a contratação de uma empresa local já que os custos logísticos poderiam influenciar fortemente no preço final do projeto.

10.1.2. Gasômetro

Foi feito o orçamento com a Sansuy, especialista em implementação de biodigestores, o valor de um projeto para um gasômetro de 2 m³. Por se tratar de uma empresa conceituada nesse nicho, a Sansuy não desenvolve projetos de pequeno porte como este, pois a oferta é muito baixa. Porém foi no passado uma estimativa de custos de R\$2300,00 para um gasômetro com essas características.

10.1.3. Triturador

O triturador utilizado foi um Tramontina 94522. É um triturador doméstico com capacidade de trituração de 0,96 litros. O fato de ser um triturador doméstico não implica em grandes problemas pelo fato de termos um baixo volume de matéria orgânica por dia.

O menor orçamento obtido desse equipamento foi de R\$685 no site: <http://www.praobra.com.br>.

A instalação do dispositivo se daria no próprio reservatório de coleta, uma vez que isso facilitaria a logística de transporte da matéria orgânica já triturada para as câmaras dos biodigestores.



Figura 27 – Triturador

- Potência ½ HP
- Tensão / Frequência 110V / 60 Hz ou 220V / 60 Hz
- Grande Capacidade da Câmara de Trituração 960 ml

- Câmara de Trituração em Aço Inox
- Carcaça Externa em Plástico ABS
- Inclui Sistema de Acionamento por Botão pneumático “Air Switch”

10.1.4. Reservatório de Coleta

O reservatório é constituído basicamente por um recipiente metálico onde será depositada a matéria orgânica até que seja completado o próximo ciclo, para que então ela seja depositada no respectivo biodigestor com ciclo a iniciar. O problema pode ser resolvido com um latão de coleta de lixo a ser instalado junto ao abrigo dos equipamentos.

10.1.5. Conjunto Gerador

O conjunto gerador descrito no item 10.4.2 está orçado em R\$670,00 já inclusas taxas de importação. Vale ressaltar que o gerador é importado da China, país com forte disseminação da indústria do Biogás, e foi desenvolvido especialmente para operar com esse combustível.

10.1.6. Abrigo dos Equipamentos

Um local para abrigar os equipamentos também será erguido no local. Construído de alvenaria, o abrigo necessitará apenas de um cômodo que comporte a bateria de biodigestores e, principalmente, o gasômetro já que este deve estar bem protegido devido à questão da segurança.

Uma área de 20 m² é o suficiente para comportar o dispositivo, para tanto foi consultado um especialista para se obter uma estimativa mais precisa de valores nesse tipo simples de construção. O valor no passado foi de R\$2.500 para uma construção sem acabamento já com porta e telhado.

10.2. Análise de Retorno de Investimento

Neste tópico vamos avaliar quanto tempo seria necessário para se ter de volta o dinheiro investido no sistema de biodigestores, esse parâmetro será de importância fundamental num estudo posterior de viabilidade do projeto.

Com base no consumo diário, chegamos num valor mensal gasto com energia elétrica. Calculado com base no site da AES – Eletropaulo, temos o valor de R\$39,01 já inclusa a carga tributária.

Somando-se todos os custos de implantação do projeto listados acima, chegamos ao valor de R\$7910,00 conforme mostra a tabela abaixo:

Tabela 9– Custo do Projeto

Item	Valor (R\$)
Bateria de Biodigestores	1355,00
Gasômetro	2300,00
Triturador	685,00
Reservatório de Coleta	400,00
Conjunto Gerador	670,00
Abrigo dos Equipamentos	2500,00
	7910,00

Quanto à bateria de biodigestores, temos discriminado abaixo os custos individuais de equipamentos:

Tabela 10 - Orçamento da Bateria de Biodigestores

Item	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Tambor 100L	10	90,00	900,00
Torneiras 3/4"	10	8,00	80,00
Tubo 3/4" x 20cm	10	x	70,00
Mangueira de 1"	20 m	x	270,00
Tela 80x80 cm	10	x	35,00
			1355,00

Assumimos portanto o custo de R\$7910,00 para a construção do biodigestor. Para avaliar o retorno do investimento encontraremos a razão desse valor pelo gasto atual mensal com energia elétrica.

Tabela 11 Análise de Retorno de Investimento

	Valor (R\$)
Biodigestor	7910,00
Energia	39,01
Retorno (Meses)	202,8
Retorno (Anos)	16,9

Chegamos portanto num período de quase 17 anos para se pagar o investimento inicial sem se aprofundar em análises mais complexas de correção monetária.

11. Manual de Operação do Biodigestor

Aqui explicaremos os aspectos construtivos do biodigestor aplicados à comunidade, assim como seu esquema de construção no local previamente escolhido, a montagem da bateria e suas respectivas ligações e interação com os outros equipamentos até o destino final do biogás que é o conjunto gerador.

Explicaremos também como deve proceder sua operação e manutenção para que se extraia o biogás com maior eficiência e sem acarretar riscos ao usuário.

11.1. Montagem do Biodigestor

A idéia inicial para este tópico era obter de um orçamento de construção do biodigestor com uma empresa especializada, e baseado no orçamento fornecido, estimar os custos supondo o a construção própria, porém no Brasil não existem empresas especializadas no projeto de biodigestores de pequeno porte e as pouquíssimas empresas atuantes nesse ramo possuem geralmente possuem o know how de projeto somente para biodigestão de dejetos animais.

Portanto nessa etapa será apresentada uma idéia de construção e uma estimativa de custos ligados a implementação desse projeto.

11.1.1. Local

O local de instalação deve estar no máximo a 20m de distância, para evitar complicações no transporte do biogás dos tambores digestores para o moto gerador. Como serão instalados 10 digestores o local deve ter dimensões mínimas de 5m x 5m, este deve ser plano, uma circunferência de 1,5m de raio deve ser traçada para que os tambores sejam alocados nas periferias.

Devem ser cavados 10 buracos espaçados igualmente, com dimensões de: Ø 280 mm e h – 700mm , suficientes para que os tambores possam ficar totalmente inseridos no chão e garantindo que possam ser tirados e colocados a qualquer momento. É necessária a construção de um muro ou a instalação de grades em volta do local porque é um lugar com grande circulação de pessoas e mantendo o local aberto há possibilidade de acidentes.

11.1.2. Tambores digestores

Os tambores devem ser de 100L de capacidade e devem ser de aço com tampo removível. A empresa Greif Brasil possui o tambor recomendado.

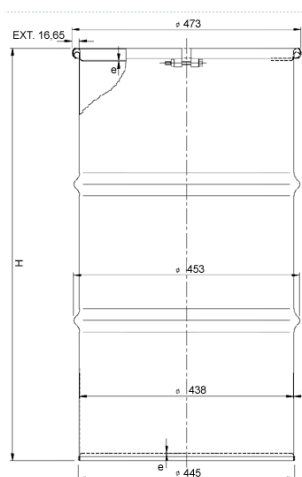


Figura 28 – Tambor Biodigestor

11.1.3. Mangueiras e válvulas

Os 10 tambores devem ser ligados à conexão por meio de mangueiras, estas devem possuir uma válvula na saída do tambor e outra na entrada da conexão. Estas têm a função de garantir que não haja perda de biogás nos tambores e do gasômetro quando um dos dois necessitar ser aberto. A empresa Tigre possui um mangueira de TigreGás PE 80SDR 11 de polietileno que é adequada para este tipo de aplicação. Estas

11.1.4. Conexão

A caixa de conexão deve ser feita de PVC (marrom). Por meio dela o biogás captado de cada um dos tambores digestores será direcionado para o gasômetro.

11.1.5. Gasômetro

Deve ser feito de manta maleável de PVC, com 2m³ de volume. A empresa Sansuy é capacitada na fabricação de gasômetros de pequeno porte.

11.1.6. Abrigo

O abrigo deve estar afastado em pelo menos 10m de distância de qualquer habitação, nele serão alocados o gasômetro, a bateria de biodigestores e o conjunto gerador. Deve ser construído utilizando blocos de concreto e revestido com cimento. As dimensões recomendadas são 4m x 5m com 2m de altura, por questões de segurança deve existir uma edícula externa onde se instalará o motor para que este não tenha nenhum contato com o gasômetro nem com o biogás presente na atmosfera do abrigo. Em cada uma das paredes devem ser feitos respiradouros para permitir a ventilação e a dispersão de eventuais gases.

11.1.7. Representação esquemática da bateria de biodigestores

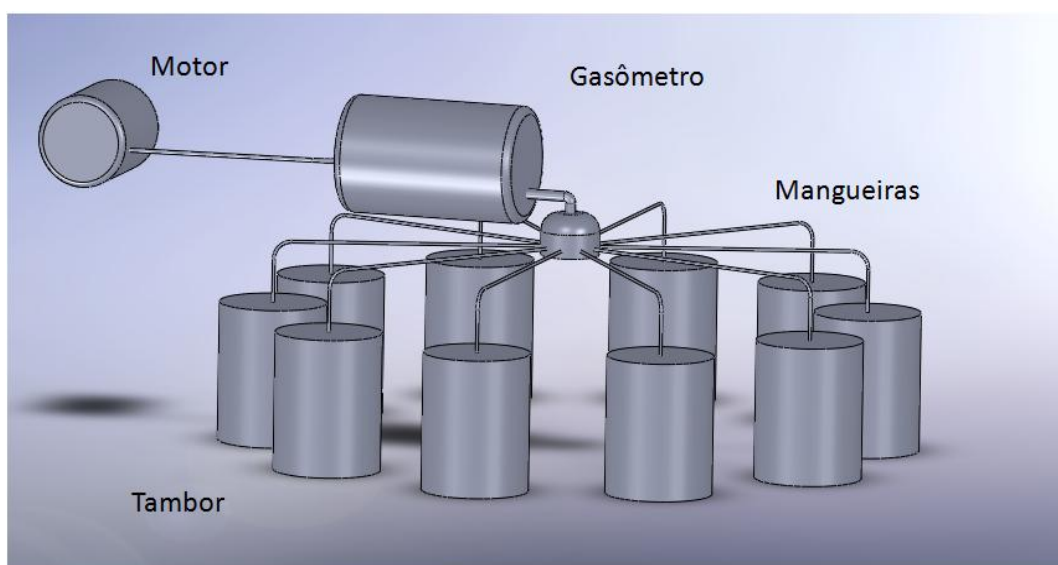


Figura 29 – Representação Esquemática da Bateria

11.2. Manutenção & Operação do Biodigestor

Dividiremos esse tópico em pré-operação em que explicaremos o tratamento da matéria orgânica antes de entrar na câmara, operação onde explicitaremos os procedimentos de manuseio da bateria de biodigestores, e manutenção em que explicaremos os cuidados que se deve tomar na pós-operação e limpeza das câmaras da bateria.

11.2.1. Pré operação

Inicialmente o operador deve certificar-se que os alimentos estão sendo corretamente depositados no *reservatório de coleta*, o local no abrigo destinado a recebê-los.

Com esta etapa cumprida, o operador deve antes de depositar na câmara dos biodigestor em questão triturar os alimentos para que se otimize o processo.

11.2.2. Operação

Primeiramente é de extrema importância saber como proceder com a bateria composta de 10 biodigestores. O ciclo de cada biodigestor é de 70 dias, o que simplifica o processo quando tratamos de uma bateria com 10 deles. A cada 7 dias (um décimo do ciclo) deve se iniciar o processo com um biodigestor diferente da seguinte maneira:

- Todas as válvulas (torneiras) estão abertas quando os 10 biodigestores estão em operação, portanto deve-se fechar a válvula do biodigestor que completara o ciclo para sua limpeza e retirada da mistura já processado.
- A tampa do biodigestor é rosqueável, e não há risco de grande vazamento de biogás pois todo ele é destinado ao gasômetro já que não há espaço suficiente na câmara.
- O material orgânico deve ser tirado completamente e a quantidade coletada durante a semana vigente no reservatório deve ser depositada.
- Feito isso, o processo pode ser otimizado depositando um pouco da matéria orgânica retirada anteriormente para que se mantenha uma cultura de bactérias.
- A média de matéria orgânica retirada do reservatório de ser de 20 a 25 quilos, segundo pesquisas realizadas previamente. Isso faz com que o operador deva completar quase até a tampa com água, mantendo-se assim a fração correta de base seca (cerca de 20%). Claro que em algum caso especial o desempenho não será tão prejudicado se a quantidade de matéria orgânica depositada for maior, existem casos em que se trabalha com até 40% de base seca.
- Após realizado esse procedimento, rosquea-se a tampa novamente e abre-se a válvula para que seja liberado novamente o biogás produzido para o gasômetro.
- Seguindo a sequência horária/anti-horária, a ordem deve ser respeitada e o procedimento realizado num período de 7 em 7 dias com o próximo biodigestor.
- Quando em operação, o sistema funciona em regime permanente devido à quantidade de biogás no gasômetro ser suficiente para manter o motor em funcionamento.

11.2.3. Manutenção

Apesar do processo ser bastante simples, requer muita atenção. O principal problema enfrentado é o fato de se trabalhar com biogás, material tóxico e explosivo quando misturado com o ar. Devido a esse fato, o procedimento de operação dos biodigestores deve ser realizado por um operador experiente e devidamente vestido, de preferência com máscara de proteção para evitar exalar o biogás.

Como dito anteriormente, o biogás que escapa da câmara na manutenção da mesma é pequeno, porém não é desprezível, o que exige a cautela de não se ter qualquer dispositivo que possa gerar uma faísca no mesmo ambiente. Ambiente este que deve ter acesso extremamente restrito para evitar que pessoas sem experiência manuseiem o biodigestor.

12. Aspectos ambientais

12.1. Poluição atmosférica e o meio ambiente

Os poluentes são caracterizados como substâncias ou agentes físicos que provocam de forma direta ou indireta algum tipo de alteração no meio ambiente, seja nos ecossistemas ou na saúde humana. Na verdade qualquer substância mesmo que inicialmente não seja um poluente, se inserida num meio que não a suporta acaba por se tornar um poluente.

Os poluentes podem ser classificados como (LIMA E SILVA):

- Poluente primário: É emitido diretamente no ambiente sem sofrer qualquer tipo de alteração na sua estrutura química.
- Poluentes secundários: É derivado da mistura de entre dois ou mais poluentes primários, ou entre a mistura de um poluente e uma substância normalmente presente no meio em que foi lançado.
- Poluente prioritário: Substância considerada principal causadora de danos ao meio ambiente

Os danos causados pelos poluentes atmosféricos vão além dos problemas de saúde e dos ecossistemas, os gases da família dos cloro-fluor-carbono (CFC) são extremamente perigosos porque geram buracos na camada de ozônio, fundamental pela proteção fornecida contra os raios ultra-violeta (UV)

Outra problemática advinda do crescente desenvolvimento econômico e do aumento da emissão de poluentes atmosféricos é o efeito estufa. Uma parte da radiação solar que atinge a Terra é absorvida, porém outra parte é refletida em forma de radiação infra-vermelha, mas gases de efeito estufa (GEEs) como CO₂ e CH₄, captam essa radiação e gradativamente aumentam a temperatura da Terra, gerando o aquecimento global

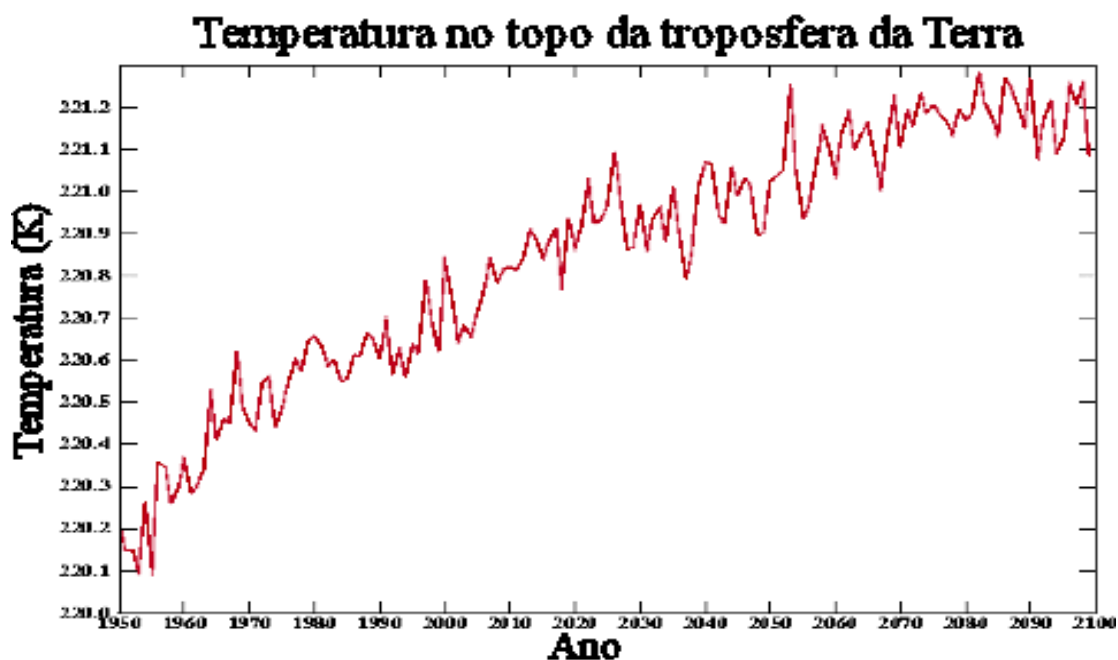


Figura 30 – Aumento da temperatura global

12.2. Aquecimento global

O aquecimento global é causado porque os GEEs estão se acumulando em demasia, permitindo que somente uma parte da radiação refletida pela Terra seja liberada para o espaço.

Os GEEs mais conhecidos são: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (NO_2), na figura 32 abaixo podemos observar. O dióxido de carbono é o gás responsável por mais da metade do aquecimento global, porque possui emissão muito maior do que os outros GEEs. Pode-se questionar o projeto de aproveitamento do biogás, uma vez que sua queima resulta em CO_2 , porém dentre todos os GEEs o mais nocivo é CH_4 , sua capacidade de absorver radiação é 23 vezes maior que a do CO_2 , por isso é vantajoso queimá-lo aproveitando seu potencial energético e diminuindo o impacto sobre o efeito estufa.

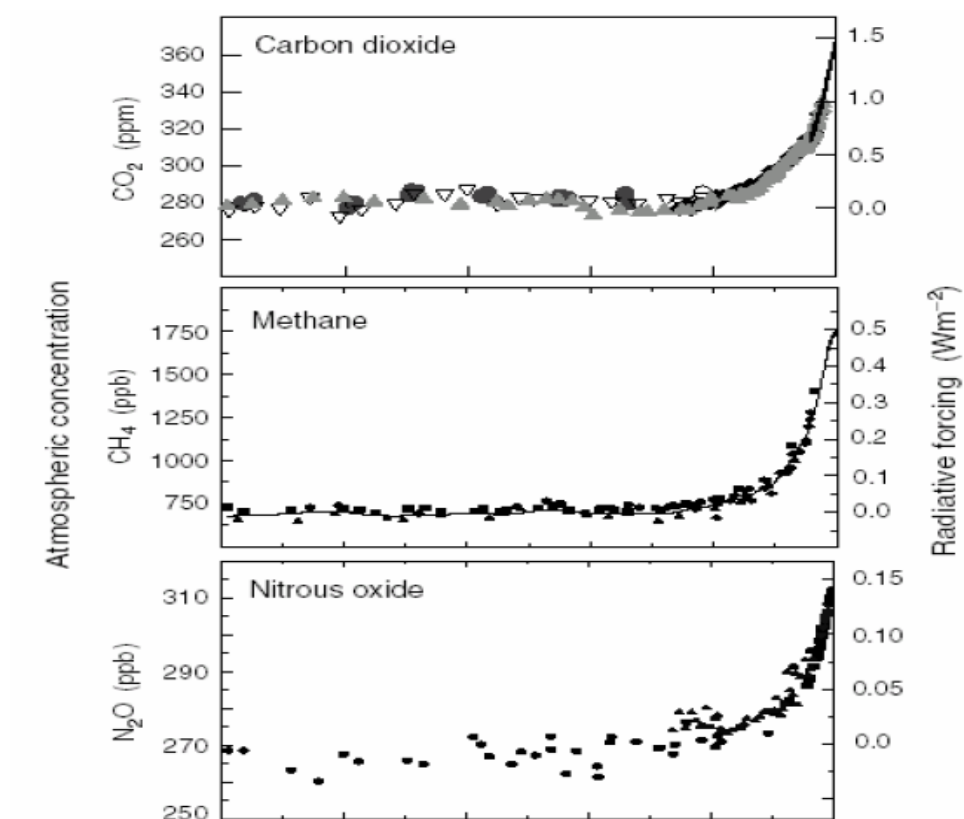


Figura 31 – Concentração dos GEEs ao longo do tempo Fonte: IPCC

O efeito estufa tem relação direta com o aumento do nível do mar, o aumento da temperatura da Terra acelera o processo de derretimento das calotas polares e os sinais disso já podem ser observados em algumas cidades da Holanda.

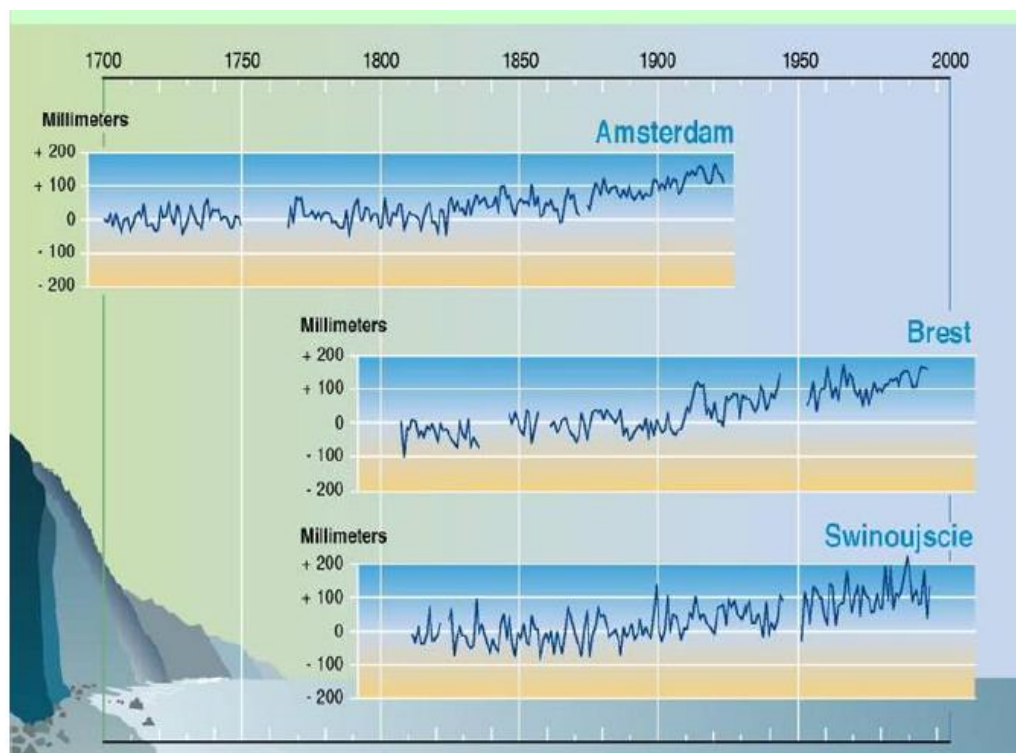


Figura 32 – Nível do mar ao longo do tempo

Fonte: IPCC

12.3. Protocolo de Kyoto

Particularmente em relação ao aquecimento global, em 1998, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Mundial de Meteorologia (OMM) criaram o *Intergovernmental Panel on Climate Change*, para dar apoio científico às negociações da Conferência das Nações Unidas sobre o meio Ambiente (ECO-92).

Em junho de 1992, 175 países negociaram e assinaram a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima, na ECO-92, no rio de Janeiro. Ao integrarem essa convenção os membros signatários se propuseram a elaborar uma estratégia global para “proteger o sistema climático para gerações presentes e futuras”(PECORA).

O órgão supremo da convenção é a Convenção das Partes (CoP). A CoP é composta por todos os países que ratificaram a convenção e comprometem-se a cumprir as normas.

Em 1997 durante a Conferência de Kyoto (CoP-3) foi estabelecido o protocolo na qual 39 países membros da convenção se comprometeram a diminuir as emissões futuras de CO₂. O Protocolo de Kyoto só entrou em vigor depois que 55 partes da Convenção, que contabilizavam no total 55% das emissões totais de gás carbônico (CO₂) em relação ao nível medido em 1990, tivessem ratificado o acordo. O Protocolo de Kyoto entrou em vigor 90 dias após a Rússia ter assinado o acordo, ou seja, em fevereiro de 2005 (FIESP, 2001).

Através do protocolo de Kyoto foram criados três instrumentos econômicos de flexibilidade para apoiar a redução de emissões de gases de efeito estufa

- Comércio de emissões – restrito a empresas de países desenvolvidos (Anexo I do protocolo) no qual são permitidas a compra e a venda do direito de emissão dos gases.
- Implementação conjunta (*Joint Implementation – JI*) que estabelece que os países signatários do protocolo, conduzam entre si, projetos visando à diminuição das emissões.
- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) – permite que países desenvolvidos comprem créditos de carbono de países não listados no Anexo I do protocolo.

No protocolo de Kyoto os países signatários se comprometem em reduzir suas emissões de CO₂ em 5,2% em relação aos níveis de 1990, porém mesmo antes do protocolo entrar em vigor, percebeu-se a necessidade de uma revisão sobre as metas propostas, devido a isso no início de 2009 foi agendada a CoP-15, Conferência Internacional de Mudanças Climáticas das Nações Unidas em Copenhague de 7 a 18 de dezembro, visando estabelecer novas metas e diretrizes.

12.4. Créditos de carbono

Os combustíveis fósseis, como o carvão mineral e os derivados de petróleo são resultado do acúmulo de biomassa no subsolo por longos períodos. A extração dessas reservas e sua utilização através da combustão liberam carbono armazenado no subsolo num período que é milhões de vezes menor que o tempo que o carbono atmosférico leva para se transformar em carvão vegetal ou petróleo. A diferença entre essas escalas de tempo é que causa o desequilíbrio do ciclo do carbono.

Uma maneira de controlar as emissões é utilizar a energia de maneira eficiente, diminuindo a necessidade de maior consumo energético, outra maneira é substituir as fontes energéticas derivadas do petróleo por fontes com menor emissão de carbono por KWh produzido.

No Brasil, a geração hidroelétrica é responsável pela maior parte da produção de energia, o que reduz o potencial de mitigação de emissões de CO₂ uma vez que a emissão média do sistema elétrico é de 0,02 tC/MWh, bastante baixa se comparada com o carvão mineral que emite 0,36 tC/MWh.

Durante a conferência de Kyoto foi aprovado um projeto que abrange o conceito de margem combinada para determinar a intensidade de emissão de carbono teórica do sistema elétrico de um determinado país. Com isso ficou determinado que o setor elétrico brasileiro emite 0,140tC/MWh, equivalente a 0,5 tCO₂/MWh. Com esse valor os projetos de MDL se tornam mais atrativos para os investidores, pois aumenta o potencial de ganhos financeiros.

12.5. Projetos em andamento

O MDL é um programa que veio a favorecer os países em desenvolvimento e fez surgir um novo ramo de negócio o Ecnegócio. Com o início da comercialização dos créditos de carbono notou-se o surgimento de empresas de consultoria especializadas em desenvolver soluções de redução de emissão de carbono e de suporte a negociação entre países que comercializam os créditos de carbono. Algumas das empresas com atuação no Brasil são: Sasa, Ecosecurities, Ecoinvest

O aterro Bandeirante, localizado no Km 26 da estrada dos Bandeirantes em Perus, é um exemplo de caso de sucesso. Este aterro começou a operar em 1976 e encerrou o recebimento de lixo em março de 2007, neste período o aterro armazenou 30 milhões de toneladas de lixo. Em 2004 a prefeitura de São Paulo estabeleceu uma parceria com a empresa *Biogás Energia Ambiental* que construiu uma unidade de geração de energia a partir de biogás, atualmente esta unidade opera por meio de 24 moto geradores que são alimentados por 12000 m³/h de biogás e tem uma potência instalada de 20MW

Em 2006 o aterro Bandeirante fechou o maior contrato de créditos de carbono já registrado pela ONU até aquele momento, que previa a venda de 1 milhão de toneladas de créditos de carbono para o banco alemão *KFW*, sendo 15 euros o

preço da tonelada. O projeto prevê a geração de 8 milhões de toneladas de créditos de carbono até o fim de 2012.



Figura 33 – Aterro Bandeirante

Fonte: Biogás Ambiental.

O projeto “Créditos de carbono”, é um projeto desenvolvido pelo grupo PLANTAR S/A em parceria com o Fundo Protótipo de Carbono do Banco Mundial. O projeto começou em 2002 na cidade de Curvelo em Minas Gerais, e deve gerar 13 milhões de toneladas de créditos de carbono em 25 anos.

O projeto prevê o plantio de eucalipto para que o carbono presente na atmosfera seja absorvido e, além disso prevê a substituição de carvão mineral por carvão vegetal na produção de ferro primário e o projeto traz consigo benefícios sociais, já que atualmente emprega cerca de 1200 trabalhadores diretos na região.



Figura 34 – Projeto Créditos de carbono do grupo Plantar S A

Fonte : Grupo Plantar

13. Análise de Viabilidade da Implantação do Biodigestor na Comunidade

Após diversas análises técnicas, financeiras, ambientais, não chegamos numa resposta definitiva da viabilidade de se construir o sistema por um motivo simples, cada uma dessas análises nos fornecem fatores prós e contra a implementação do projeto. Podemos, entretanto, lançando-se mão desses fatores justificar a nossa atitude frente ao projeto.

Claro que financeiramente falando o projeto torna-se inviável pela escala do mesmo, num projeto desse tipo precisamos de um volume mínimo que é em ordem de grandeza muito maior do que o escopo do nosso estudo. Empresas existentes no mercado trabalham em setores muito específicos desse campo e escala muito maiores. Encontramos empresas que são especialistas em um tipo de gado e através de volumes muito grandes obtidos em fazendas de criação desses animais fazem disso uma atividade rentável.

Isso nos dá uma brecha para tocar no aspecto ambiental, que também foram bastante explorado nesse estudo. O Brasil produz uma quantidade muito grande de lixo orgânico e o tratamento desses não é a rigor tão eficiente quando observamos todo território nacional. Junta-se a isso o fato do país ter uma matriz energética altamente concentrada e temos dois fortes fatores que favorecem qualquer iniciativa no campo de energias limpas, como biodigestores, e que ainda tem forte apelo ambiental.

Temos então que pesar esses dois pontos na balança priorizar algum dos lados para que se tenha um veredicto absoluto sobre o tema. Ao nosso ver, devido ao panorama ambiental atual, qualquer atitude em prol desse tipo de iniciativa é válida, outro fator que nos faz ter essa opinião é a inclusão social que essa iniciativa pode ter em uma comunidade por vezes abandonada pelas autoridades.

14. Bibliografia

AMARAL, F. L. **BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UM PANORAMA TECNOLÓGICO ATUAL**, IPT, São Paulo, 2004.

BENINCASA, M., ORTOLANI, A. F., LUCAS JUNIOR, J. **BIODIGESTORES CONVENCIONAIS**. UNESP, Campus de Jaboticabal, 1-15-25 p.

BISWAS, J.; CHOWDHURY, R.; BHATTACHARYA, P. **KINETIC STUDIES OF BIOGAS GENERATION USING MUNICIPAL WASTE AS FEED STOCK**, JADAVPUR UNIVERSITY, Kolkata, 2005.

BOLETIM ENFOQUE – Biodigestor “PE”, FONTE ALTERNATIVA ENERGÉTICA E DE BIOFERTILIZANTES – Edição 3, Recife, 1999.

CARVALHO, F. B. **ESTUDO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES NO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS, SP, A PARTIR DA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA**, USP, EESC, São Carlos, 2007.

CHERNICHARO, C. A. L. **PRINCÍPIOS DO TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS: REATORES ANAERÓBIOS**. Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. v.5, p.246.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M.C.J.P; ROSSI, M.; TAVARES, R. **BIODIGESTORES RURAIS: MODELOS INDIANO, CHINÊS E BATELADA**. UNESP – Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Bauru, São Paulo, 2002.

GORGATI, C. Q.; LUCAS JR. **FRAÇÃO ORGÂNICA DE LIXO URBANO COMO SUBSTRATO PARA BIODIGESTOR**, UNESP, Botucatu.

GUANGZHOU DINGFENG MACHINERY, Disponível em: <http://luoliuli.en.ec21.com/>, Acessado em 11/2009

LUCAS JÚNIOR, J. **ESTUDO COMPARATIVO DE BIODIGESTORES MODELOS INDIANO E CHINÊS**. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP , Jaboticabal, 1987.

MITZLAFF, K. Von. **ENGINES FOR BIOGAS: THEORY, MODIFICATION, ECONOMIC OPERATION**. Braunschewieg: Vieweg, 1988.

NOGUEIRA, C. E. C., ZÜRN, H. H.. **MODELO DE DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO PARA SISTEMAS ENERGÉTICOS RENOVÁVEIS EM AMBIENTES RURAIS**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, 2005

NOGUEIRA, L. A. H. **BIODIGESTÃO A ALTERNATIVA ENERGÉTICA**.1986, Editora Nobel, São Paulo. 93 p.

PECORA, V. **IMPLANTAÇÃO DE UMA UNIDADE DEMONSTRATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS DE TRATAMENTO DO ESGOTO**, USP, São Paulo, 2006

PORTES, Z. A.; FLORENTINO, H. O. **APLICATIVO COMPUTACIONAL PARA PROJETO E CONSTRUÇÃO DE BIODIGESTORES**, UNESP, Botucatu.

POLI CIDADÃ, 2009 Disponível em http://www.policidada.poli.usp.br/wiki/index.php/Jardim_Concei%C3%A7%C3%A3o, Acesso em 04/2009

ROSS, C.C., DRAKE, T.J. **THE HANDBOOK OF BIOGAS UTILIZATION**, US department of energy southeastern regional biomass energy program Tennessee valley, muscle shoals, Alabama, Second Edition, 1996

SILVA, N. A. **CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DE BIODIGESTOR: MODELO CHINÊS** EMBRATER, Brasília, 1983

SILVA, N. A. **CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DE BIODIGESTOR: MODELO INDIANO** EMBRATER, Brasília, 1983

SOLAR TURBINES, 2009 – Disponível em: <http://mysolar.cat.com/>, acessado em 10/2009

VANDEVIVERE, P.; BAERE, L.; VERSTRAETE, W - **SOLID WASTE DIGESTORS: PROCESS PERFORMANCE AND PRATICE FOR MUNICIPAL SOLID WASTE DISGESTION** – Ghent University, Gent, Belgium

Anexo

Tecnologia de biodigestor leva energia limpa a casas no RJ

da **France Presse**, em Petrópolis

A cidade serrana de Petrópolis (65 km do Rio de Janeiro), se converteu na capital brasileira da energia limpa graças à tecnologia de um biodigestor. Trata-se de um sistema de reciclagem de matéria orgânica que já está sendo utilizado em países como a Nicarágua, República Dominicana, Haiti e Espanha.

O projeto, incentivado pela ONG Instituto Ambiental (OIA), se baseia num princípio simples: o biodigestor aproveita as águas do esgoto para gerar a energia que alimenta as casas de cinco bairros populares da cidade.



Palácio de Cristal, em Petrópolis (RJ); cidade abriga um biodigestor, cuja tecnologia leva energia limpa às residências de cinco bairros

O sistema recupera o gás metano produzido naturalmente pela decomposição orgânica e o canaliza para uso doméstico. Desta forma, o gás (um dos causadores do efeito estufa e muito nocivo para a atmosfera) é aproveitado com um fim útil, conforme explica Jorge Gaiofatto, diretor-técnico da OIA.

O lodo, que se origina no processo pode ser utilizado para fertilizar cultivos, e a água remanescente, menos poluída, pode ser obtida em rios vizinhos, algo muito importante num país como o Brasil, onde, segundo estatística oficiais, pouco mais da metade dos municípios têm rede de coleta de esgoto e de tratamento de águas.

"O biodigestor não trata os resíduos sanitários, ele os recicla e reutiliza. Tratá-los é função do governo, pois o volume gerado é muito grande. No entanto, o biodigestor é uma solução para sistemas situados em pontos onde não há rede coletora e de tratamento", acrescenta Gaiofato.

"Cada 10 casas que tratam seus esgotos em biodigestores geram gás para que uma seja autossuficiente", calcula Gaiofato.

Redução de custos

Os biodigestores de Petrópolis beneficiam bairros populares de Nova Independência, Vai Quem Quer, Nogueira, Vila Ipanema e Manga Larga. Outros seis aparelhos deste tipo serão instalados em outras partes da cidade, inclusive num condomínio de luxo.

"As medições que fazemos comprovam que a redução da carga orgânica (dos resíduos) chega a 98%", afirma Márcio Salles, superintendente da Águas do Imperador, a concessionária de serviços sanitários de Petrópolis, que adotou o sistema nas favelas da cidade.

Além disso, o custo de um biodigestor "chega a ser três vezes mais barato do que o da instalação de uma rede tradicional de saneamento", conclui.

Segundo a OIA, o custo para a construção de um biodigestor capaz de atender até quatro casas varia de US\$ 1.000 a US\$ 1.500.

Há alguns meses, Gean Carlos dos Santos, um professor de 35 anos, casado e pai de Sofia, de seis meses, decidiu trocar a fossa séptica que tinha em casa, na comunidade de Manga Larga, periferia de Petrópolis, por um biodigestor que ajudou a construir.

"Eu tinha uma fossa séptica em casa e, depois de um curso de ecologia, decidi trocá-la pelo biodigestor. Não contaminamos o rio e, além disso, posso usar o biogás", conta ele. Os eventuais vazamentos, explica, podem ser percebidos pelo odor característico do metano ou pelas bolhas em uma piscina de monitoração.

Entusiasmado com o sistema, Gean Carlos, que usa o metano para cozinhar até duas horas seguidas, diz que a poupança com o biogás é grande e que pensa em usá-lo para no aquecedor do banheiro.

"Antes eu comprava um botijão de gás a cada dois meses. Hoje, compro um a cada três meses e meio", observa.