

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EXERGÉTICO DE  
BIODIGESTOR PARA INSTALAÇÃO NA USINA DE LIXO DE  
VITÓRIA**

**IGOR FRACAROLI  
KENYO COLNAGO DOS SANTOS**

**VITÓRIA – ES  
Março/2005**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EXERGÉTICO DE  
BIODIGESTOR PARA INSTALAÇÃO NA USINA DE LIXO DE  
VITÓRIA**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação  
dos alunos Igor Fracaroli e Kenyo Colnago  
dos Santos apresentado ao Departamento de  
Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico  
da Universidade Federal do Espírito Santo,  
para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

**VITÓRIA – ES  
Março/2005**

**IGOR FRACAROLI  
KENYO COLNAGO DOS SANTOS**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EXERGÉTICO DE  
BIODIGESTOR PARA INSTALAÇÃO NA USINA DE LIXO DE  
VITÓRIA**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Professor  
Orientador**

---

**Professor  
Examinador**

---

**Professor  
Examinador**

**Vitória-ES, onze de março de 2005**

## **DEDICATÓRIA**

Igor: dedico este trabalho a Deus, que esteve comigo em todos os momentos, a minha namorada Kenia Almeida Viriato, que sempre me incentivou, aos meus pais Antônio Ernane Fracaroli e Maria das Graças Calegari e meus irmãos Márcio e Alex, pelo apoio nessa minha jornada.

Kenyo: dedico esta minha vitória a Deus, aos meus queridos pais José Domingos dos Santos e Estella Colnago dos Santos, aos meus irmãos Alvimar, Kelso e Josela, a minha linda namorada Kely e toda sua família, aos meus amigos e a toda galera das Repúblicas Maromba, Rastapower e Tchoo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao Professor Rogério Queiros pela orientação prestada e a Mitsue Morigaki, laboratorista da Unidade de Triagem e Compostagem de Lixo de Vitória, pelas informações levantadas a respeito das características e condições atuais da Usina de Lixo de Vitória.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – foto da situação atual da Usina de Lixo de Vitória.....	1
Figura 2 – até uma criança nos canos de esgoto.....	2
Figura 3 – lixão entre Diadema e São Bernardo do Campo.....	5
Figura 4 – lixão de Bauru-SP.....	5
Figura 5 – combustão completa.....	19
Figura 6 – combustão insuficiente.....	19
Figura 7 – sem biofertilizante.....	23
Figura 8 – com biofertilizante.....	23
Figura 9 – hidropônica cultivada com biofertilizante.....	23
Figura 10 – demonstração de como ocorre o ataque das bactérias.....	33
Figura 11 – desenho do Biodigestor Indiano.....	39
Figura 12 – desenho do Biodigestor Chinês.....	40
Figura 13 – desenho do Biodigestor Modelo Marinha.....	40
Figura 14 – desenho do Biodigestor Modelo Plastisul.....	41
Figura 15 – desenho do Biodigestor Modelo Apótema I.....	41
Figura 16 – desenho do Biodigestor Modelo Apótema II.....	42
Figura 17 – foto do Biodigestor Modelo de Vinimanta.....	43
Figura 18 – área de reciclagem da Usina de Lixo Vitória.....	45
Figura 19 – desenho do inicio do processo de Trituração do lixo orgânico.....	46
Figura 20 – foto das esteiras de triagem na Usina de Lixo de Vitória.....	47
Figura 21 – desenho tanque de mistura e do reservatório de esgoto.....	48
Figura 22 – visualização do fluxo da mistura no Tanque de biodigestão.....	49
Figura 23 – desenho esquemático do processo.....	49
Figura 24 – foto do Rolo Magnético.....	50
Figura 25 – foto do Triturador.....	50
Figura 26 – foto do Compressor de gás.....	51
Figura 27 – foto da canaleta onde se fixa o Gasômetro.....	52
Figura 28 – foto de um Biodigestor com Gasômetro de vinimanta.....	52

Figura 29 – foto do Moto-gerador.....	53
Figura 30 – Iluminação da cidade de Vitória.....	66
Figura 31 – desenho esquemático do Biodigestor Piloto.....	68

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- CFG dos RSU da cidade de Vitória-E.S.....	4
Tabela 2 – Diferença entre as fontes de energia.....	9
Tabela 3 - Composição media do biogás.....	16
Tabela 4 – Equivalência energética para 1m <sup>3</sup> de biogás.....	19
Tabela 5 - Porcentagem de redução de microorganismos indesejáveis à saúde.....	21
Tabela 6 – Custos dos principais equipamentos.....	64
Tabela 7 – Custo do Biodigestor Piloto.....	69

## SIMBOLOGIA

Ve – volume esgoto

Vmo – volume de matéria orgânica;

Vt – volume total da mistura que entrará no Tanque de biodigestão do Biodigestor Real

v<sub>t</sub> – volume total da mistura que entrará no Tanque de biodigestão do Biodigestor Piloto

v – volume de biogás gerado pelo Biodigestor Piloto

DM<sub>mo</sub> – densidade média da matéria orgânica

DM<sub>e</sub> – densidade média do esgoto

DM<sub>mo+e</sub> – densidade média da matéria orgânica + esgoto

DM<sub>mo+H<sub>2</sub>O</sub> – densidade média da matéria orgânica + água

Me – massa de esgoto

M<sub>mo</sub> – massa de matéria orgânica

M<sub>t</sub> – massa total

P – potência do Biodigestor Real

p – potência do Biodigestor Piloto

$\bar{E}$  – exergia

$\bar{h}^{\circ}_f$  – entalpia de formação

$\Delta \bar{H}_f$  – variação de entalpia

$\bar{c}_p$  – poder calorífico

$\bar{S}$  – entropia

## **GLOSSÁRIO**

**Bactérias aeróbicas:** Bactéria que sobrevive a presença de oxigênio.

**Bactérias anaeróbicas:** são bactérias que sobrevivem e reproduzem na ausência do oxigênio, usando a energia contida na matéria orgânica.

**Biofertilizante:** resíduo pastoso provido da matéria orgânica na digestão anaeróbica.

**Biogás:** é um gás inflamável produzido pela ação bacteriana, com o metano e o CO<sub>2</sub> como os principais elementos.

**Compostagem:** é o processo de transformação de materiais grosseiros, como palha e estrume, em materiais orgânicos utilizáveis na agricultura.

**Hidrólise:** Reação de alteração de minerais envolvendo fluido aquoso com ions de hidrogênio (H<sup>+</sup>) ou de oxidrila (OH<sup>-</sup>) substituindo ions que são liberados para a solução.

**Homogeneização:** é uma distribuição por igual em todo material.

**Solubilização:** é a transformação da fase líquida para a sólida.

**Lençóis freáticos:** são reservas subterrâneas de água.

**Hidroponia:** é um sistema de cultivo, dentro de estufas sem uso de solo. Os nutrientes que a planta precisa para desenvolvimento e produção são fornecidos somente por água enriquecida.

Manômetro: instrumento utilizado para medir pressão.

Poder calorífico: é a quantidade de calor, por unidade de massa, gerada pela queima do combustível.

Reciclagem: Reaproveitar a matéria provida do lixo.

Triagem: Separação das matérias provida do lixo.

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA.....</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>II</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>III</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>V</b>
<b>SIMBOLOGIA.....</b>	<b>VI</b>
<b>GLOSSÁRIO.....</b>	<b>VII</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>XI</b>
<b>1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
1.1 Situação atual da Usina de Lixo de Vitória.....	1
1.2 Situação atual do esgoto de Vitória.....	2
<b>2 O LIXO COMO FONTE DE ENERGIA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Tecnologias que transformam o lixo em fonte de energia.....	4
2.2 O lixo no Brasil.....	5
<b>3 FONTES DE ENERGIA.....</b>	<b>6</b>
3.1 Falta de energia elétrica.....	6
3.2 Tipos de energias renováveis.....	7
3.3 Características das principais fontes geradoras de energia.....	8
3.4 Ações voltadas para a implantação de fontes renováveis de energia.....	9
3.5 Destaques de Reuniões Mundiais sobre o futuro das energias renováveis.....	10
3.6 Fontes de financiamento para produção de energias renováveis.....	11
<b>4 HISTÓRIA DOS BIODIGESTORES.....</b>	<b>13</b>
<b>5 BIODIGESTOR E SUAS CARACTERÍSTICAS.....</b>	<b>16</b>
5.1 Biogás.....	16
5.2 Biofertilizante.....	19
5.3 Características dos Biodigestores.....	23
5.4 Componentes do Biodigestor.....	25

5.5 Vantagens do Biodigestor.....	25
5.6 Desvantagens do Biodigestor.....	26
5.7 Processos que podem tratar seus resíduos em Biodigestores.....	26
5.8 Cuidados ao instalar um Biodigestor.....	27
5.9 Operação e carregamento do Biodigestor.....	28
5.10 Manutenção do Biodigestor.....	28
5.11 Segurança do Biodigestor.....	29
5.12 Leis e Normas para a implantação de Biodigestores.....	29
<b>6 PROCESSO DE BIODIGESTAO.....</b>	<b>32</b>
6.1 Ataque das bactérias.....	32
6.2 Condições indispensáveis à fermentação.....	34
<b>7 BIODIGESTORES MAIS CONHECIDOS.....</b>	<b>39</b>
7.1 Modelo Indiano.....	39
7.2 Modelo Chinês .....	39
7.3 Modelo Marinho.....	40
7.4 Modelo Plastisul.....	41
7.5 Modelo Apótema I.....	41
7.5 Modelo Apótema II.....	41
7.6 Modelo em Vinimanta.....	42
<b>8 BIODIGESTOR PROPOSTO PARA A USINA DE LIXO DE VITÓRIA.....</b>	<b>44</b>
8.1 Descrição do processo.....	47
8.2 Estruturas e equipamentos usados no processo.....	50
8.3 Cálculos do projeto.....	54
8.4 Custos do projeto.....	64
<b>9 DESCRIÇÃO DO BIODIGESTOR PILOTO.....</b>	<b>68</b>
9.1 Custo do Biodigestor Piloto.....	69
<b>10 CONCLUSÃO.....</b>	<b>70</b>
<b>11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>72</b>
<b>12 ANEXO.....</b>	<b>74</b>

## RESUMO

O projeto proposto para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico, pela Universidade Federal do Espírito Santo, consiste na elaboração do projeto de um Biodigestor Real e de um Biodigestor Piloto, com avaliação de seu potencial exergético. O projeto do Biodigestor Real tem a finalidade de ser implantado na Unidade de Triagem e Compostagem de Lixo de Vitória (UTCLV), mais conhecida como Usina de Lixo de Vitória. Esse Biodigestor será alimentado com toda matéria orgânico que chega à Usina, mais o esgoto recolhido por empresas que fazem a limpeza de fossas. Um moto-gerador transformará o biogás produzido em energia elétrica que será usada para permitir auto-suficiência energética à Usina, sendo que o excedido poderá ser vendido à concessionária ou repassado à comunidade ao redor da Usina. Além do biogás produzido, haverá a formação do biofertilizante. Esse insumo é rico em nutrientes, podendo ser comercializado na forma de adubo orgânico ou de ração animal.

Como o Biodigestor Real é um projeto de grandes proporções, antes que se faça a sua implantação, é necessário conhecer os valores experimentais da biodigestão do lixo orgânico mais o esgoto. Esses valores experimentais, que são a quantidade de metano produzido e a análise nutricional do biofertilizante, deverão ser encontrados com a construção de um Biodigestor Piloto. A partir do Biodigestor Piloto será possível fazer o cálculo real da quantidade de energia elétrica produzida pelo Biodigestor Real. Como base de cálculo, usaremos nos Biodigestores a mistura de lixo orgânico mais água.

Esse projeto tem a intenção de apresentar uma alternativa correta para tratar o lixo e o esgoto da cidade de Vitória. Além disso, com a implantação do Biodigestor na Usina de Lixo de Vitória, haverá um aumento de três vezes no número de funcionários. Essa porcentagem é devido ao aumento do número de turnos, que passará de dois para quatro turnos diários, e ao aumento do número de pessoas que irão trabalhar em todo processo de triagem do lixo. Também haverá a necessidade de contratar pessoas especializadas para operar todo o processo de biodigestão. Para que a

biodegradação seja eficiente, é necessário a retirada de toda parte inorgânica do lixo, pois essa parte não deve ir para dentro do Biodigestor.

## 1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

### 1.1 Situação atual da Usina de Lixo de Vitória

Construída para separar e tratar o lixo da cidade de Vitória, a Unidade de Triagem e Compostagem de Lixo de Vitória (UTCLV) recebe diariamente 250 toneladas de lixo urbano. Desse total, 30% é de lixo reciclável, porém, nessa Usina se recicla apenas 10%, deixando de obter um lucro três vezes maior. Após a retirada desses 10% de lixo reciclável (papéis, metais, vidros e plásticos), todo o resto é encaminhado para lixões a céu aberto, causando a ocupação de uma grande área e contaminando os lençóis freáticos e expondo as pessoas que sobrevivem da catação de lixo nesses locais, infestado de germes, ratos, porcos e urubus.

Na Usina de Lixo de Vitória também é feita a Compostagem de restos de poda de árvores e de toda matéria orgânica que pode ser recolhida. O resultado da decomposição da matéria orgânica em Compostagem serve como adubo para as árvores e plantas de Vitória.



Figura 1- foto da situação atual da Usina de Lixo de Vitória.

## 1.2 Situação atual do esgoto de Vitória

Como o tratamento do esgoto da cidade de Vitória está apenas começando, poucos são os bairros atendidos pelas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). Dessa forma, a maior parte do esgoto de Vitória é lançado "in natura" nos manguezais, nas praias e na própria via pública.



Figura 2 – até uma criança nos canos de esgoto.

A adição desse esgoto ao Biodigestor da Usina de Lixo de Vitória tem a finalidade de prevenir e reduzir as doenças causadas por vírus, bactérias, vermes, protozoários e outros agentes nocivos à saúde encontrados no esgoto. Além disso, o uso do desse esgoto evitará a poluição e a contaminação de nossas praias e manguezais, preservando com isso a fauna e a flora aquática.

Com a mistura de lixo orgânico mais esgoto, a produção de biogás pode aumentar consideravelmente, devido à composição do esgoto urbano, que contém quase 4% de matéria orgânica diluída em água. Além dessa vantagem, o uso do esgoto urbano tem a finalidade de substituir a água que é necessária ao processo.

## 2 O LIXO COMO FONTE DE ENERGIA

A composição química do lixo varia de acordo com a cultura e o grau de desenvolvimento de cada país. No Brasil, a maior parte do lixo é composto de matéria orgânica (50% a 60%), são restos de verduras, cascas de frutas, legumes, carcaças, etc. Ter bastante matéria orgânica no lixo é uma característica dos países pobres. Nos países ricos, predomina o lixo inorgânico, como o vidro, o metal, o plástico e as embalagens de papel e papelão.

Na cidade de Vitória, uma pesquisa feita para uma dissertação de mestrado [1] identificou quais são os valores da Composição Física Gravimétrica (CFG) dos seus Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). A CFG fornece a quantidade total de papéis, plásticos, metais, vidros, matéria orgânica, madeira/couro/borracha, trapos e itens diversos presentes nos RSU, retratando de modo mais representativo a qualidade e a quantidade de RSU a serem coletados. Os dados da CFG são de fundamental importância para o dimensionamento das unidades de triagem, dos sistemas de tratamento (reciclagem, biodigestão, incineração) e de destinação final (aterro sanitário). A sua atualização é importante, pois possibilita a análise do comportamento da população na geração dos RSU.

Na Tabela 1 são apresentadas às médias amostrais e o resultado da análise estatística referente aos dados obtidos para cada grupo de material presente nos RSU. Como os RSU são gerados por diferentes classes sócio-econômicas, essas classes foram divididas em A,B,C e D.

Número de Amostras	Classes Sócio - econômicas	Tipo de Material									Média Amostral (MR)
		Papéis	Plásticos	Metais	Vidros	Matéria Orgânica	Madeira	Couro	Trapos	Diversos	
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	
6	A	28,62	18,52	2,37	3,53	41,00	0,92	1,50	3,54	100,00	53,04
	B	22,12	19,64	1,28	1,76	47,81	0,88	2,82	3,69	100,00	44,80
	C	19,95	15,11	1,72	1,26	47,91	1,87	5,52	6,66	100,00	38,04
	D	20,82	17,67	1,58	0,71	43,77	2,64	7,22	5,59	100,00	40,78
24		22,878	17,735	1,738	1,815	45,123	1,578	4,265	4,870	100,00	44,17
	S	5,3	2,4	0,8	1,8	5,4	1,0	2,9	1,8	--	7,45
	S <sup>2</sup>	28,1	5,8	0,64	3,2	29,2	1,0	8,4	3,2	--	55,5

Tabela 1- Composição Física Gravimétrica dos seus Resíduos Sólidos Urbanos de Vitória

Nota: período de maio a julho de 2002.

## 2.1 Tecnologias que transformam o lixo em fonte de energia

As tecnologias disponíveis para gerar energia a partir do lixo não são tão recentes. Desde os anos 80, os Estados Unidos, a Europa e o Japão produz energia através de Usinas Termelétricas alimentadas por lixo. Essa tecnologia, embora já se mostre economicamente viável, em muitos casos apresentaram problemas ambientais.

A incineração e a biodigestão são, essencialmente, as duas formas para se produzir energia elétrica com menos prejuízo à natureza. A incineração é um recurso ambientalmente mais prejudicial, pois a queima do lixo resulta na emissão de dioxinas e furanos, elementos potencialmente perigosos à saúde humana. Também não se pode esquecer que os incineradores tendem a agravar o efeito estufa, perigo ao qual o mundo está cada vez mais atento.

De um modo geral, os biodigestores são mais viáveis economicamente e não agridem a natureza. Esta tecnologia faz com que os resíduos orgânicos do lixo produzam o metano e o biofertilizante, que servem para gerar energia elétrica e para ser utilizado como um adubo de alta qualidade. Além disso, os biodigestores contribuem para evitar o agravamento do efeito estufa e permitem a eliminação, quase que total, dos aterros sanitários.

## 2.2 O lixo no Brasil

É sabido que 240 mil toneladas de lixo são geradas por dia em todo o Brasil. Deste valor, 100 mil toneladas correspondem somente a lixo domiciliar, sendo que mais de 75% dele é lançado em lixões a céu aberto. Dos 25% de lixo domiciliar que sobrou, 15% é colocado em aterros sanitários e apenas 10% sofre algum tipo de reciclagem. Calcula-se que cerca de 55 mil brasileiros sobrevivem dos lixões, sendo que neste número estão incluso as crianças, os adultos e os velhos. Cerca de 30% das crianças que sobrevivem da catação de lixo, não freqüentam a escola.

A partir dos valores apresentados, fica clara a necessidade de dar um fim ao problema lixo, sendo que a alternativa mais eficaz é a construção de Biodigestores, alocados em Usinas de Tratamento de Lixo espalhadas por todo país.



Figura 2 - Lixão entre Diadema e São Bernardo do Campo.



Figura 4 – Lixão de Bauru-SP.

### 3 FONTES DE ENERGIA

A energia tem sido através dos tempos a base do desenvolvimento das civilizações. Nos dias atuais, é cada vez maior a necessidade de energia para a produção de alimentos, bens de consumo, bens de serviço e para o desenvolvimento econômico, social e cultural do país. É evidente a importância da energia não só no contexto das grandes nações industrializadas, mas principalmente naquelas em via de desenvolvimento, cujas necessidades energéticas são muito mais dramáticas e prementes.

O carvão mineral foi a grande fonte de energia da Primeira Revolução Industrial, e o petróleo foi a principal fonte de energia do século XX, porém, continua a desempenhar esse papel, apesar de um recente e progressivo declínio. Tanto o petróleo como o carvão mineral são recursos não renováveis, isto é, que um dia se esgotarão completamente. Essas fontes de energia também são muito poluidoras, pois seu uso implica na poluição do ar. Vivemos numa época de transição, passagem do domínio do petróleo para a supremacia de fontes de energia renováveis, isto é, que não apresentam o problema de esgotamento do recurso energético.

Essas fontes alternativas de energia vêm através dos tempos ganhando mais adeptos e força no seu desenvolvimento e aplicação, pois se trata de uma alternativa viável para a atual situação em que o mundo se encontra. A geração de eletricidade a partir de fontes renováveis de energia pode, potencialmente, contribuir tanto no ponto de vista ambiental quanto social, em função de serem menos poluidoras, consumirem menos água e gerarem mais empregos e incentivos à atividade econômica.

#### 3.1 Falta de energia elétrica

No Brasil, cerca de 25 milhões de pessoas vivem sem acesso à energia elétrica. Essa população vive majoritariamente no meio rural e em áreas remotas do país. Estima-se que o número de propriedades rurais sem acesso à eletricidade seja da ordem de 200 mil. Em todo o Mundo, estima-se que 2 bilhões de pessoas vivam sob tal restrição.

Apesar desses dados negativos, é possível levar energia do tipo renovável a esses lugares, tendo como exemplo o Brasil que apesar de possuir mais de 90% de geração limpa (hidroeletricidade), existe ainda vasto campo de aplicação das energias renováveis, uma vez que mais de 90% de sua extensão territorial se situam na região tropical, com excelente recurso solar, abundância de biomassa, e bons regimes de vento em algumas regiões, fazendo com que o Brasil, sem dúvida, seja um dos maiores países no mundo para aplicação destas tecnologias.

### **3.2 Tipos de energias renováveis**

- **Eólica**

Vem do aproveitamento dos ventos, é uma das fontes de energia renovável que mais vem crescendo no mundo. Grandes parques de geração, utilizando máquinas de grande potência, são cada vez mais comuns na Europa, EUA, Japão e China, entre outros. Ao todo, a potência instalada no mundo saltou de 1,9 GW em 1990 para 39 GW em 2003;

- **Solar Fotovoltaica**

A superfície terrestre recebe de 900 a 1200 kWh/m<sup>2</sup>/ano de energia solar. Nos últimos anos, o Japão, países europeus e os EUA vêm aumentando significativamente o uso de painéis fotovoltaicos conectados à rede, esses painéis dispensam a necessidade do uso de baterias. A produção mundial de células fotovoltaicas em 2003 foi de 742 MW, 40 % maior que a de 2002.

- **Termo-Solar**

O aproveitamento da energia solar para aquecimento é uma forma comprovadamente viável frente a outras fontes de energia. Vários países vêm adotando programas agressivos visando a sua massificação. Há no mundo cerca de 62 milhões de m<sup>2</sup> de coletores, mais da metade na China, cerca de 25% na UE e cerca de 20% no Japão.

- **Geotérmica**

O aproveitamento da energia geotérmica ainda não é viável para aqueles que o desejam, mas apenas para aqueles que dispõem de condições propícias. Em tese, em qualquer lugar do planeta se pode atingir altas temperaturas com perfuração de

poços ultra-profundos, no entanto, as condições variam de região para região. No Brasil, estudos apontam para o aumento de 1° C a cada 100m perfurados. Na Europa Central o crescimento é de 3° C. Em regiões com condições mais favoráveis, como a Islândia e a Itália, já há significativo aumento de aproveitamento de energia geotérmica. Em 2000, a capacidade instalada de energia geotérmica no mundo era de 8.500 MW.

- **Biomassa**

É bastante antigo o aproveitamento da energia proveniente da decomposição de algum tipo de matéria orgânica em caldeiras ou em biodigestores. Uma das primeiras comprovações do uso de um biodigestor para produção de energia tem a data de 1859. De acordo com previsões de consumo, até o ano 2020, o gás será a matriz energética que mais crescerá, assim, diversos segmentos estão se mobilizando a fim de alcançar metas. A cana de açúcar do Brasil, para a produção de álcool e energia elétrica, é a biomassa mais visível. Atualmente começou a aparecer o biodiesel como uma fonte de energia renovável, sendo ela difundida pela Alemanha, pelos países europeus e também pelo Brasil.

### **3.3 Características das principais fontes geradoras de energia**

As fontes de energia são diferentes no que diz respeito ao tipo de obtenção, ao uso, e na relação de vantagens e desvantagens. A seguir, a Tabela 2 demonstrará a grande diferença entre as energias renováveis e não renováveis.

Fonte	Obtenção	Uso	Vantagens	Desvantagens
Petróleo	Matéria resultante de transformações químicas de fósseis animais e vegetais. Pode ser extraído em reservas marítimas ou continentais.	Produção de energia elétrica. É a Matéria-prima da gasolina, do diesel e de outros produtos como plástico, borracha sintética, ceras, tintas, e asfalto.	Já se tem o domínio de tecnologia para a sua exploração e refino. Facilidade de transporte e distribuição.	É um recurso esgotável e libera dióxido de carbono na atmosfera, poluindo o ambiente e colaborando para o aumento do efeito estufa.
Gás Natural	Ocorre na natureza associado ou não ao petróleo. A pressão nas reservas impulsiona o gás para a superfície, onde é coletado através de tubulações.	Aquecimento, veículos, geração de eletricidade, caldeiras e fornos.	Pode ser utilizado nas formas gasosa e líquida. Existe um grande número de reservas.	É um recurso esgotável. A construção de gasodutos e metaneiros (navios especiais para transporte e distribuição), requerem altos investimentos. Influencia na formação de chuva ácida e na alteração climática.
Nuclear	Reatores nucleares produzem energia térmica por fissão (quebra) de átomos de urânio. A energia produzida aciona um gerador elétrico.	Produção de energia elétrica. Fabricação de bombas atômicas.	As usinas podem ser instaladas em locais próximos aos centros de consumo. Não emite poluentes que influem sobre o efeito estufa.	Não há tecnologia para tratar o lixo nuclear. A construção dessas usinas é cara e demorada. Há riscos de contaminação nuclear.
Hidroeletricidade	A energia liberada pela queda de uma grande quantidade de água represada move uma turbina que aciona um gerador elétrico.	Produção de energia elétrica.	Não emite poluentes. A produção é controlada. Não influencia no efeito estufa.	Inundação de grandes áreas. Deslocamento de populações. A construção dessas usinas também é cara e demorada.
Carvão mineral	Máteria que resulta das transformações químicas de grandes florestas soterradas. Extraído em minas subterrâneas ou a céu descoberto em bacias sedimentares.	Aquecimento, produção de energia elétrica. Matéria-prima de fertilizantes.	Domínio da sua tecnologia. Facilidade de transporte e distribuição.	Influencia na formação da chuva ácida devido à liberação de poluentes como dióxido de carbono ( $CO_2$ ), enxofre ( $SO_2$ ) e óxidos de nitrogênio durante a combustão.
Eólica	O movimento dos ventos é captado por hélices ligadas a uma turbina que aciona um gerador elétrico.	Produção de energia elétrica. Movimentação de moinhos.	Grande potencial para geração de energia elétrica. Não influí no efeito estufa. Não ocupa áreas de produção agrícola.	Exige investimentos para transmissão da energia gerada. Produz poluição sonora. Interfere nas transmissões de rádio e TV.
Solar	Lâminas ou painéis recobertos com material semicondutor capturam a luminosidade recebida do Sol para gerar corrente elétrica.	Aquecimento e produção de energia elétrica.	É fonte renovável. Não influí no efeito estufa. Não precisa de turbinas ou geradores para a produção de energia elétrica.	Exige investimentos iniciais de para o seu aproveitamento.
Biomassa	A matéria orgânica é decomposta em caldeiras ou em biodigestores. O processo gera gás e vapor que aciona uma turbina e move um gerador elétrico.	Aquecimento. Produção de energia elétrica. Produção de biogás (metano).	É fonte renovável. Sua ação sobre o efeito estufa pode ser equilibrada, pois o gás carbônico liberado durante a queima é absorvido no ciclo de produção.	Exige investimentos iniciais para o seu aproveitamento.

Tabela 2 – Diferença entre as fontes de energia.

### 3.4 Ações voltadas para a implantação de fontes renováveis de energia

As ações tomadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL estão voltadas à realização de estudos de potencial, implantação de projetos e definição de medidas regulatórias à comercialização da eletricidade produzida por fontes

renováveis. Uma das mais importantes propostas corresponde ao uso dos recursos da Conta de Consumo de Combustíveis – CCC para que os mesmos sejam aplicados no subsídio da eletricidade gerada por fontes renováveis. Essa proposta foi estabelecida na Lei nº 8.631, de 4 de março de 1993. A regulamentação dessa Lei foi feita pela Resolução ANEEL nº 245, de 11 de agosto de 1999 e renovada pela Resolução ANEEL nº 784, de 24 de dezembro de 2002,

Do ponto de vista legal e regulatório, o fato mais marcante para o aproveitamento das fontes renováveis de energia pode advir da futura aprovação ao Projeto de Lei nº 2905, de 2000, de autoria do Deputado Federal José Carlos Aleluia e ora em tramitação no Congresso Federal. Uma das propostas estabelece que os recursos da CCC constituam um fundo para financiar projetos de fontes alternativas de energia. Outra proposta feita pelo Deputado é a obrigatoriedade de compra, por parte das concessionárias de distribuição, da energia gerada por fontes alternativas. Essa proposta se aproxima da política adotada na Alemanha, onde as concessionárias são obrigadas a comprar eletricidade gerada por fontes renováveis até que no conjunto essas fontes atendam um percentual do mercado. Na Alemanha a tarifa de compra é alta, igual à tarifa paga pelo consumidor final, estimulando os investimentos. Como efeito, houve um rápido desenvolvimento das fontes renováveis, particularmente da energia eólica, a ponto de ser o país com maior capacidade instalada.

### **3.5 Destaques de Reuniões Mundiais sobre o futuro das energias renováveis**

- Conferência Mundial realizada em Bonn

Atendendo a um convite do governo da Alemanha, 154 países se reuniram em Bonn, entre 1 e 4 de junho de 2004, para discutir a temática das energias renováveis. Este encontro representou a concretização de uma proposta apresentada durante a Conferência de Joannesburgo, proposta que tem a finalidade de avançar o plano de massificação do uso das fontes renováveis.

- II Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento

A Conferência Mundial promovida pela ONU, em 1992 no Rio de Janeiro, reuniu os principais estadistas do mundo. Foram debatidos os problemas causados pelo homem ao Meio Ambiente. Esta conferência teve como resultado um plano

de ação denominado de Agenda 21 (Plano de ação da Declaração do Rio-92), que estabelece a substituição de 20% das fontes energéticas por renováveis até o ano 2000 e 50% até o ano 2020. Mais uma vez os combustíveis alternativos e renováveis vêm à tona como uma das soluções para o desenvolvimento auto-sustentado.

- 8° European Conference On Biomass For Energy, Environment, Agriculture And Industry

Realizada em Viena, 1994, tratou-se do evidente interesse no uso da biomassa como suprimento energético. Foi destacando nesta Conferência que a biomassa é uma forma de energia e matéria prima renovável, onde a larga escala de desenvolvimento, produção e uso podem trazer grandes contribuições na menor dependência dos combustíveis convencionais, na proteção ao ambiente e no desenvolvimento das atividades agrícolas, urbanas e industriais.

### **3.6 Fontes de Financiamento para a produção de energias renováveis**

Ao todo, os investimentos mundiais em energia renovável saltaram de cerca de US\$ 6 bilhões em 1995 para aproximadamente US\$ 26 bilhões em 2004. O que se pode deduzir de imediato é que o mercado, de agora em diante, terá a alternativa de buscar novas soluções energéticas, como forma segura e econômica de ultrapassar a potencial crise de energia, sem perda de competitividade, interrupções ou prejuízos.

- Banco Mundial

De 1990 até 2004, elevou de 4% para 14% os investimentos em Energias Renováveis. Em 1990, a instituição destinou cerca de US\$ 3,1 bilhões para estes fins.

- Protocolo de Kyoto

Assinado em dezembro de 1997, no Japão, por diversos países membros da Organização das Nações Unido e recentemente aderido pela Rússia. O documento estabeleceu diretrizes para criação de projetos do seqüestro de carbono, um mecanismo para redução do nível de gás carbônico na atmosfera, ele também traz a promessa de ajuda financeira para as empresas que estão desenvolvendo projetos em energias renováveis e reflorestamento.

- Empresas privadas

Como exemplo temos o Unibanco, que na busca da auto-suficiência está investindo em geração de energia a partir do gás metano, produzido pelo Aterro Sanitário Bandeirantes, em São Paulo. O Unibanco tornou-se auto-suficiente em energia elétrica a partir de março de 2004. A meta foi possível com a instalação de uma planta de geração de energia a partir do gás metano, desenvolvida pela Biogás Energia Ambiental. “A planta nos interessou pelo fato de ser um fornecimento energético estável e por ter um aspecto ambiental muito forte”, diz Carlos Eduardo Melles, superintendente dos Projetos Financeiros do Unibanco. A eletricidade será distribuída pela AES Eletropaulo e o Unibanco terá descontado de sua conta de energia o valor que equivale ao consumo de 1.000 agências.

## 4 HISTÓRIA DOS BIODIGESTORES

Em relação à sua origem, esta tecnologia vem de sendo utilizada há muitos anos pelos Hindus, Chineses e Japoneses. Esses povos, que eram essencialmente agrícolas, trouxeram esta tecnologia rudimentar até os dias de hoje. Primeiramente eles descobriram o processo de decomposição da matéria orgânica, quando faziam a limpeza do terreno e colocavam o lixo em um canto. Quando passaram a utilizar esse método como um sistema de limpeza, fizeram valas para que todo o material (restos de frutas e vegetais, folhas e galhos de árvores, dejetos de humanos e de animais, etc...) fosse depositado. Com o passar do tempo, foram cobrindo essas valas com areia, por causa do odor e dos insetos que se concentravam, e observaram que se formava um tipo de gás sobre o local. Esse gás eventualmente queimava, produzindo uma chama azulada, semelhante ao gás dos pântanos e dos cemitérios.

Tudo leva a crer que o "gás dos pântanos" foi identificado por Shirley em 1667. No entanto, o reconhecimento do metano como um de seus componentes foi definido por Alessandro Volta, em 1776. Posteriormente, em 1883, Ulysse Gayon, aluno de Louis Pasteur, realizou a primeira fermentação anaeróbia contendo uma mistura de estrume e água a 35°C, conseguindo assim obter 100 litros de gás por m<sup>3</sup> de matéria. Em 1884, Louis Pasteur, ao apresentar à Academia das Ciências os trabalhos do seu aluno, considerou que esta fermentação podia constituir uma fonte de aquecimento e iluminação.

A idéia de aproveitar o gás metano foi iniciada na Índia, no ano de 1859. Lá foi construída a primeira instalação operacional destinada à produção de gás combustível. Esse gás foi usado em um hospital de hansenianos, em Bombaim. Nessa mesma época, pesquisadores como Fisher e Schrader, na Alemanha, e Grayon, na França, entre outros, estabeleceram as bases teóricas e experimentais da biodigestão anaeróbia.

Posteriormente, em 1890, Donald Cameron projetou uma fossa séptica para a cidade de Exeter, na Inglaterra, sendo o gás produzido utilizado na iluminação pública. Uma importante contribuição para o tratamento anaeróbio de esgotos

residenciais foi feita por Karl Imhoff, na Alemanha, que, por volta de 1920, desenvolveu um tanque biodigestor, o tanque Imhoff, bastante difundido na época.

Embora a biodigestão anaeróbia tenha sido aplicada desde o começo do século para o tratamento de efluentes residenciais, não há dúvida que a grande popularização deste processo deu-se na Índia a partir de 1939, quando o Instituto Indiano de Pesquisa Agrícola, em Kanpur, desenvolveu a primeira usina de gás de esterco, em Bengali Gobar Gas. O sucesso obtido levou a formação do Gobar Institute, em 1950, onde Ram Bux Singh cordenou as pesquisas que conduzem a uma enorme difusão do biodigestor como forma de tratar o esterco e obter combustível sem perder o fertilizante. Estes trabalhos realizados em Ajitmal, no norte da Índia, possibilitaram a construção de quase meio milhão de unidades de biodigestores no interior indiano, adotando-se o chamado Modelo Indiano.

A utilização mais intensa das possibilidades da biodigestão deu-se na China, a partir de 1930. Em 1931 fundou-se a 1<sup>a</sup> companhia de biogás, em Xangai. Em 1934 iniciam-se cursos de treinamento em escala nacional, atingindo maior grau de desenvolvimento em 1970. É o país que mais desenvolveu a tecnologia, visando atender principalmente o meio rural. Foram 7,2 milhões de biodigestores instalados até dezembro 1979, esse número equivale energeticamente a 5 "Itaipus" ou 48 milhões de toneladas de carvão mineral.

Apesar dos resultados apresentados, nos países desenvolvidos este combustível não conseguiu vingar por muito tempo como um substituto dos tradicionais. Como tal, a exploração do biogás foi bastante reduzida, limitando-se a ser utilizado em alguns casos esporádicos. Foi apenas nos anos 40, devido à carência energética provocadas pela II Guerra Mundial, que o biogás voltou a ser utilizado no aquecimento das casas, na cozinha e na alimentação de motores de combustão interna. Nas décadas de 50 e 60, a relativa abundância das fontes de energia tradicionais, desencorajou a recuperação do biogás na maioria dos países desenvolvidos. Apenas nos países com poucos recursos de capital e energia, como a Índia e a China, o biogás desempenhou um papel importante, sobretudo em pequenos aglomerados rurais.

A partir da crise energética dos anos 70, o gás metano proveniente dos biodigestores voltou a despertar o interesse geral conduzindo a um aumento da sua

produção nos países europeus. Neste mesmo período, a tecnologia dos biodigestores foi trazida para o Brasil. A primeira aplicação foi em 1976 na Granja do Torto, Brasília, onde foi construído um biodigestor Modelo Chinês. Logo depois, na região nordeste, foram implantados vários programas de difusão de biodigestores. Um dos centros de difusão mais atuantes na região foi o, em Areia, na Paraíba. A criação e os trabalhos daquele laboratório iniciaram-se em 1977, com a contratação do professor visitante Kuzhiparambil Prakasan, um dos maiores especialistas no assunto a nível internacional. Os trabalhos do professor Prakasan foram bastante satisfatórios. Os inúmeros cursos que reuniam pesquisadores e profissionais de vários estados tornaram o Laboratório de Energia Biomassa da UFPB um dos maiores centros de difusão de biodigestores do país. Em 1987, um acidente automobilístico vitimou o professor Prakasan, interrompendo de maneira trágica seu louvável trabalho.

Posteriormente, por motivos predominantemente relacionados à queda do preço do petróleo, houve uma forte desaceleração nos programas de disseminação dos biodigestores. O corte nos incentivos governamentais e a falta de assistência técnica prejudicaram muito a continuidade operacional dos biodigestores instalados, principalmente por ser uma tecnologia nova e não dominada por seus proprietários, exigindo grande apoio técnico. Dos biodigestores construídos nos anos 80, poucos ainda se encontram em funcionamento.

## 5 BIODIGESTOR E SUAS CARACTERÍSTICAS

O Biodigestor é o meio ou equipamento onde se processa a digestão anaeróbica de subprodutos, produzindo o biogás e o biofertilizante. Além do infinável número de biodigestores naturais, como o solo, as águas estagnadas e os cursos de água, existem os biodigestores desenvolvidos e implantados pelo homem.

### 5.1 Biogás

O Biogás é um gás inflamável produzido pela ação de bactérias aeróbias (que sobrevivem apenas na presença de oxigênio) e pelas bactérias anaeróbias (que sobrevivem e se reproduzem, na ausência de oxigênio, usando a energia contida na matéria orgânica). Existem também as bactérias do tipo facultativas, que atuam tanto em ambiente oxigenado como em ambiente sem oxigênio.

A digestão pelas bactérias anaeróbias, que é o interesse do trabalho, faz a transformação de compostos orgânicos complexos em outros compostos mais simples, como o metano. O metano, que é o principal componente da ação dessas bactérias não tem cheiro, cor ou sabor, entretanto, outros gases presentes no biogás conferem-lhe um leve odor de ovo podre. A proporção desses gases depende de vários parâmetros, como o tipo de biodigestor, o substrato a digerir, a temperatura, o pH...

Abaixo, na Tabela 3, estão relacionados à porcentagem dos gases presentes no biogás.

<b>Metano (CH<sub>4</sub>)</b>	55 a 75 %
<b>Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)</b>	25 a 45 %
<b>Nitrogênio (N<sub>2</sub>)</b>	0 a 3 %
<b>Hidrogênio (H<sub>2</sub>)</b>	0 a 1 %
<b>Gás Sulfídrico (H<sub>2</sub>S)</b>	0 a 1 %
<b>Amônia (NH<sub>3</sub>)</b>	0.1 a 0.5 %
<b>Monóxido de Carbono (CO)</b>	0 a 0.1 %

Tabela 3 - Composição media do biogás.

O biogás, em condições normais de produção, devido ao seu baixo teor de monóxido de carbono (inferior a 0.1%) não é tóxico. Por outro lado, devido principalmente ao CO<sup>2</sup> e ao H<sub>2</sub>S, o biogás é muito corrosivo. Equipamentos mais sofisticados como motores de combustão interna, geradores, bombas e compressores, têm vida útil extremamente reduzida com a presença desses gases. Entretanto, a remoção do CO<sup>2</sup>, do H<sub>2</sub>S e de outros gases pode ser feito através de filtros.

A produção do biogás é naturalmente encontrada em pântanos, aterros e esgotos. Um fato curioso está ligado ao antigo costume de se enterrar o lixo em buracos. Depois que o lixo era aterrado, a matéria orgânica começava a se decompor e a formar o gás metano. Esse gás, que vai se acumulando, alcançava altas pressões produzindo o rompimento do solo e consequentemente a combustão espontânea. Tal fato era erroneamente associado a fenômenos sobrenaturais ou manifestações de seres místicos e folclóricos.

Existem duas situações possíveis para o aproveitamento do biogás. O primeiro caso consiste na queima direta (aquecedores, esquentadores, fogões, caldeiras). O segundo caso diz respeito à conversão de biogás em eletricidade.

O biogás por ser extremamente inflamável, e obedecendo a uma relação entre este e o ar, oferece condições de uso em:

- Fogão doméstico;
- Secadores de grãos ou secadores diversos;
- Combustível para motores de combustão interna;
- Geração de energia elétrica;
- Bombas de irrigação;
- Chocadeiras;
- Geladeiras;
- Lâmpião.

Existem também novas tecnologias que estão usando o biogás para a geração de energia, são elas:

- Turbogeradores a Gás, Turbogeradores a Vapor e Plantas de Co-geração - para geração e cogeração;
- Grupos Motogeradores, Microturbinas, Fuel Cells e UPS de pólos variáveis - para microgeração e micro-cogeração;
- Chillers de Absorção e Chillers acionados por motores à gás -microgeração térmica;
- Termogeradores – para microgeração.

A queima do gás metano e a eficiência de máquinas e sistemas com novas tecnologias geram eficiência de mais de 90% e confiabilidade muito alta, resultando em economia de até 40% sobre os sistemas convencionais atuais.

A armazenagem do biogás, depois de purificado ( $\pm$  95% de metano), pode armazenado em:

- Cilindros de alta pressão;
- Cilindros com adsorventes, sob pouca pressão;
- O gás pode ser liquefeito e armazenado em cilindros termicamente isolados à temperatura de  $-161^{\circ}\text{C}$ .

O poder calorífico do biogás depende do teor de metano e do seu grau de umidade. O biogás contém grande quantidade de umidade, pois a digestão se dá em meio úmido, saturando de vapor d'água o biogás produzido. 5500 kcal/m<sup>3</sup> é o valor freqüentemente adotado para o poder calorífico do biogás, entretanto, retirando sua umidade e removendo o dióxido de carbono, por borbulhamento em água, o valor de seu poder calorífico aproxima-se do valor correspondente ao do metano puro, que é de 9400 kcal/m<sup>3</sup>.

Cada 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a uma determinada quantia de outro combustível, conforme indica a Tabela 4. Os dados desta tabela levam em conta o poder calorífico e a eficiência média de combustão de cada combustível.

<b>Carvão vegetal</b>	0,8 kg	<b>Querosene</b>	0,62 l
<b>Lenha</b>	3,5 kg	<b>GLP (butano-propano)</b>	1,43 kg
<b>Óleo diesel</b>	3,5 kg	<b>KWH (através de central elétrica)</b>	0,74 l
<b>Gasolina</b>	0,55 l	<b>Carvão Mineral</b>	0,74 kg
<b>Álcool carburante</b>	0,80 l	<b>Xisto</b>	4,0 kg

Tabela 4 – Equivalência energética para 1m<sup>3</sup> de biogás.

Pode-se observar que, devido a sua baixa densidade, é preciso grandes volumes de biogás para fornecer a mesma energia de alguns combustíveis líquidos. Estes dados também mostram que o biogás é um combustível de boas características e, sendo possível isolar o seu principal componente, o metano, se obtém um combustível de valor ainda maior.

No emprego do biogás como combustível, deve-se estabelecer entre este e o ar, uma relação que permita a combustão integral. Quando esta se dá, a chama é forte e de coloração azul claro. Se a chama for curta e amarela, indica biogás insuficiente e ar excessivo. Se a chama tremer, há insuficiência de ar e a combustão é incompleta.



Figura 5 - Combustão completa



Figura 6 - Combustão insuficiente

## 5.2 Biofertilizante

Simultaneamente à obtenção do biogás, a digestão anaeróbia da matéria orgânica produz um resíduo pastoso, que é chamado de biofertilizante. Esse fertilizante apresenta grande quantidade de nitrogênio e de fósforo, que são os principais componentes dos adubos industrializados. Além de um adubo de primeira

ordem, tendo uma fundamental importância para a recuperação dos solos, conservando sua fertilidade e o equilíbrio ecológico, o biofertilizante pode ser usado com sucesso na alimentação de peixes e, após secagem, como complemento alimentar em rações.

Como o biofertilizante possui uma composição altamente complexa e variável, por ser um produto fermentado por bactérias, leveduras e bacilos, ele contém quase todos os macros e micros elementos necessários à nutrição vegetal.

Ele tem a relação C/N bem reduzida, aumentando a quantidade de nitrogênio, devido à perda de carbono sob a forma de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ .

O biofertilizante pode ser aplicado diretamente no pé da planta, sem a possibilidade de se queima-las, pois grande parte da matéria orgânica já está mineralizada. Como qualquer adubo, o biofertilizante não deve ser aplicado em excesso, podendo causar problemas de sobreadubação para as plantas.

Pesquisas realizadas em vários países comprovaram que a digestão anaeróbia é capaz de reduzir consideravelmente o volume de organismos patogênicos, sejam esses bactérias ou ovos larvares. Com isso, o biofertilizante tem a característica de fito hormonal, de fungistático, de bacteriostático, de nematicida, de acaricida e de repelente contra insetos. Agindo, portanto, como um protetor natural contra doenças e pragas, e sem perigo para a saúde humana. As razões para a redução desses seres patogênicos são diversas, porém as mais significativas são a falta de oxigênio e a alta temperatura dentro do biodigestor.

A Tabela 5 apresenta a porcentagem de redução de alguns microorganismos indesejáveis à saúde pública, durante a biodigestão anaeróbia, segundo dados da National Academy of Sciences.

<b>Organismo</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Tempo de digestão</b>	<b>Redução</b>
<b>Poliovirus</b>	35°C	2 dias	98,5%
<b>Salmonella ssp</b>	22 – 35°C	6 – 20 dias	82 – 98%
<b>Salmonella typhosa</b>	22 – 37°C	6 dias	99%
<b>Mycobacterium tuberculosis</b>	30°C	-	100%
<b>Ascaris tuberculosis</b>	30°C	-	100%
<b>Lumbricoides</b>	29°C	15 dias	90%
<b>Cistos de parasitos</b>	30°C	10 dias	100%

Tabela 5 - Porcentagem de redução de microorganismos indesejáveis à saúde pública.

As vantagens na utilização do biofertilizante são enormes, não só pelo seu custo muito baixo, mas também pelos resultados na produtividade agrícola, entretanto, a utilização correta do biofertilizante é a chave principal para atingirmos os melhores índices de produtividade agrícola.

Existem algumas regras que devem ser observadas, e que poderíamos enumerar como segue:

- Proceder periodicamente a análises fisico-químicas do biofertilizante, para determinar quais os teores dos elementos químicos componentes do mesmo, e sua solubilidade total ou parcial na água. Não havendo grandes modificações ou variações na composição da matéria orgânica básica, uma análise mensal é suficiente;
- Conduzir uma análise fisico-química do solo onde se pretende cultivar determinado vegetal, para determinar o teor e os componentes químicos desse solo, e seu grau de solubilidade;
- Saber por literatura especializada ou por análise, quais os teores e os componentes do vegetal a ser cultivado.

Com os dados enumerados acima, faz-se então a correção da composição química do biofertilizante, operação esta denominada por Mineralização do Biofertilizante.

O uso do biofertilizante apresenta as seguintes vantagens, em relação a outros adubos orgânicos:

- Não apresenta custo nenhum se comparado aos fertilizantes inorgânicos;
- Não propaga mau cheiro;
- Recupera terras agrícolas empobrecidas em nutrientes pelo excesso ou uso contínuo de fertilizantes inorgânicos, ou seja, produtos químicos;
- É um agente de combate à erosão, porque mantém o equilíbrio ecológico retendo maior quantidade de água pluvial;
- O resíduo da matéria orgânica apresenta uma capacidade de retenção de umidade pelo solo, permitindo que a planta desenvolva durante o período de seca;
- Maiores facilidades de imobilização do biofertilizante pelos microorganismos do solo, devido ao material já se encontrar em grau avançado de decomposição o que vem aumentar a eficiência do biofertilizante;
- Melhora a brotação e o crescimento das plantas;
- Pode ser utilizado em qualquer tipo de cultura ou plantação, inclusive em plantas ornamentais;
- A diminuição na relação C/N da matéria orgânica, o que melhora as condições do material para fins agrícola;
- Aumento no teor de nitrogênio e demais nutrientes, em consequência da perda do carbono;
- Controla o desenvolvimento de doenças, mas não é um agrotóxico;
- Deixa as plantas mais resistentes aos insetos.

O biofertilizante pode ser separado, através de uma filtragem, em:

- Biofertilizante líquido

É a parte aquosa do biofertilizante natural. O biolíquido pode ser usado em pulverizadores, como adubo folhear, ou na hidroponia . A assimilação biofertilizante líquido se efetua com muita rapidez;

- **Biofertilizante sólido**

É a parte sólida e contém muita fibra. É utilizado como adubação por enterramento em torno da copa da planta. A assimilação é lenta.



Figura 7 - Sem biofertilizante.



Figura 8 - Com biofertilizante.



Figura 9 - Hidropônica cultivada com biofertilizante.

Experiências realizadas na china com biofertilizante registraram significativos aumentos de produtividade: mais de 28% no caso do milho e de 10 a 14% no caso do arroz.

### 5.3 Características dos Biodigestores

- Os Biodigestores podem funcionar como

1. Biodigestores Bateladas – são os biodigestores abastecidos com uma certa quantidade de resíduos, sendo que somente quando se chega ao fim do tempo de retenção, é que se esvazia o biodigestor;
  2. Biodigestores Contínuos – são biodigestores abastecidos diariamente com uma certa quantidade de mistura, sendo que no mesmo momento que essa mistura entra no biodigestor, uma mesma quantidade de mistura sai, sendo que sairá na forma de biofertilizante.
- Os Biodigestores são divididos em
    1. Biodigestores Rurais – implantados em propriedades rurais;
    2. Biodigestores Urbanos – implantados nas cidades, principalmente por comunidades;
    3. Biodigestores Industriais – implantados em pólos industriais.
  - Os Biodigestores podem ter o corpo
    1. Cilíndrico – tem a forma de um cilindro;
    2. Prismático – tem a forma de um tronco de trapézio;
    3. Retangular – tem o corpo de forma retangular.
  - Os Biodigestores podem ser construídos
    1. Horizontalmente – comprimento maior que a altura;
    2. Verticalmente – comprimento menor que a altura.
  - Os Biodigestores podem ser, quanto à disposição no terreno
    1. Superficiais - acima do solo ou semi-enterrado;
    2. Subterrâneos - abaixo do solo.

#### 5.4 Componentes do Biodigestor

- Tanque de mistura  
Tanque onde se efetua a mistura da matéria orgânica e a Água;
- Tubo da mistura

Duto por onde se faz a introdução da mistura no Biodigestor;

- Tanque de biodigestão

Tanque onde se processa a fermentação da matéria orgânica pelas bactérias anaeróbias;

- Gasômetro

Câmara onde se acumula o gás formado pela biodigestão da mistura. Ele pode ser do tipo fixo ou flutuante, estático ou dinâmico;

- Tubo de descarga

Duto por onde sai o resíduo (biofertilizante) após a fermentação;

- Tanque de descarga

Tanque onde o biofertilizante é despejado;

- Mangueira de saída do biogás

Tubulação instalada na parte superior do gasômetro para conduzir o biogás até o ponto de consumo.

## 5.5 Vantagens do Biodigestor

- Em termos de tratamento de resíduos

1. É um processo natural para se tratar resíduos orgânicos;

2. Requer menos espaço que aterros sanitários ou compostagem;

3. Diminui o volume de resíduo a ser descartado.

- Em termos de energia

1. É uma fonte de energia renovável;

2. Produz combustível de alta qualidade – o biogás pode atingir um alto poder calorífico

- Em termos de meio-ambiente

1. Produz um combustível ecologicamente correto – a combustão do metano só produz água e dióxido de carbono, não gerando nenhum gás tóxico.

2. Maximiza – os benefícios da reciclagem e o reaproveitamento da matéria orgânica;

3. Reduz as necessidades de lenha – que poupará as matas;
  4. Um programa de Biodigestores representa – um recurso eficiente para tratar os resíduos e melhorar o padrão sanitário do meio rural, urbano e industrial;
  5. Produz como resíduo o biofertilizante – rico em nutrientes e livre dos ovos de esquistossomos e ancilóstomos, bacilos disentéricos e paratípicos, bem como de bactérias e de outros parasitas;
  6. Reduz significativamente – a quantidade emitida de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e de metano (CH<sub>4</sub>), gases causadores do efeito estufa.
- Em termos econômicos
    1. Apesar do alto custo inicial – a longo prazo resulta numa grande economia, pois reduz gastos com eletricidade, com a eliminação dos resíduos orgânicos e com a compra de adubo químico e pesticidas,
    2. É possível vender – a energia pode ser vendida para a própria concessionária do estado, já o biofertilizante que pode ser vendido na forma de adubo orgânico ou de ração animal.

## 5.6 Desvantagens do Biodigestor

- Custo inicial elevado;
- Sempre há formação de gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), um gás tóxico;
- Necessidade de purificação do biogás;
- Perigo de explosões, se não projetado corretamente.

## 5.7 Processos que podem tratar seus resíduos em Biodigestores

- Produção de vinho;
- Produção de álcool;
- Produção de açúcar;
- Produção de fermento;
- Produção de refrigerantes;
- Usinas de lixo, parte orgânica;
- Estações de tratamento de esgoto;

- Criadores de gado, porcos, frangos;
- Abatedouros e frigoríficos;
- Cervejarias;
- Curtumes;
- Laticínios;
- Outros.

## 5.8 Cuidados ao instalar um Biodigestor

Para que a tecnologia não venha a cair em descrédito, como no passado, alguns cuidados devem ser tomados:

- O Biodigestor é um equipamento complexo

Para sua construção é necessário um projeto bem desenvolvido, o qual deverá ser feito por profissionais com bastante vivência nessa área;

- Aprimoramento da assistência técnica

Para que se tenha o sucesso da tecnologia o usuário precisa ter conhecimento, evitando assim os erros muitas vezes primários, mais que podem inviabilizar o processo;

- O Biodigestor deve estar no máximo à 20m ponto de consumo do biogás

Acima dessa distância ocorre à perda de pressão e com isso, a necessidade de métodos especiais para o transporte do gás, podendo inviabilizar a projeto;

- Para evitar despesas com transporte

O Biodigestor deve ser construído o mais próximo possível da fonte produtora de biomassa;

- Local de instalação de um Biodigestor

Deve ser num local bastante arejado, isso evita odores quando ele estiver sendo carregado e descarregado;

- O Biodigestor deve estar bem vedado;

- Para que se evite a entrada de ar ou o vazamento de gás.

## 5.9 Operação e carregamento do Biodigestor

- Preparo da biomassa

A biomassa deve ser triturada antes de ir para dentro do Biodigestor, em seguida ela deve ser misturada com água (na mesma proporção de biomassa);

- Carregamento e a descarga da biomassa

Devem ser feitos simultaneamente, isso evita uma modificação na pressão interna do gás;

- Antes de fazer a limpeza do Biodigestor

Certifique-se de que não há gás, para evitar acidentes.

## 5.10 Manutenção do Biodigestor

Evitar falhas no processo de biodigestão é um fator que deve ser considerado. Tais falhas, que são inevitáveis, podem ser minimizadas com uma manutenção planejada e regular. Portanto, é preciso que os sistemas sejam fáceis de consertar ou remover, diminuindo com isso o tempo de interrupção no funcionamento regular do Biodigestor. A regra básica é fazer a manutenção sem parar de produzir o biogás. O conceito de manutenção é importante para reduzir os custos na operação dos Biodigestores. Essa manutenção pode ser subdividida em:

- Manutenção de emergência

Essa manutenção não planejada é causada por algum tipo de acidente. Temos como exemplo a ruptura de uma tubulação ou a quebra de alguma válvula;

- Manutenção corretiva

Envolve os trabalhos de conserto e substituição de componentes, sem que ocorra a parada do Biodigestor. Temos como exemplo a quebra do sistema de agitação. Eventualmente este serviço pode ser previsto;

- Manutenção preventiva

Corresponde aos serviços periódicos cujo objetivo maior é prevenir falhas futuras.

## 5.11 Segurança do Biodigestor

Para que o Biodigestor tenha um bom funcionamento, é necessário executar algumas medidas de segurança, como:

- Reduzir ao máximo o volume de ar na partida do Biodigestor

Durante a partida, a presença de ar no tanque de biodigestão pode causar uma explosão, devido à mistura do ar com o biogás. Para que isso não ocorra, é necessário despejar na atmosfera a primeira produção de biogás;

- Verificar possíveis fugas de biogás na hora da operação e da manutenção do Biodigestor

Deve-se lembrar que o biogás geralmente não tem cheiro, dificultando assim a identificação e localização do vazamento. O antigo recurso das bolhas de sabão pode ajudar a descobrir e verificar a existência de furos;

- Utilização de um manômetro

Esse manômetro serve para medir a pressão interna do tanque de biodigestão, zelando assim pela segurança da estrutura do Biodigestor. O manômetro também calcula a quantidade aproximada de gás armazenado e indica quando a atividade bacteriana se estabilizou;

- Não colocar compostos fosfatados no tanque de biodigestão

Sob condições de total ausência de ar, esse composto pode produzir fosfina, extremamente tóxica, cujo contato será fatal;

- Limpeza do Tanque de biodigestão

Antes de fazer essa limpeza certifique-se de que não há presença de biogás, para evitar explosões.

## 5.12 Leis e Normas para a implantação de Biodigestores

- LEI N° 1.806, de 30 de março de 1991

Essa Lei autoriza o Poder Executivo a promover junto às comunidades carentes a instalação de Biodigestores.

1. Art. 1º – Fica o Poder Executivo autorizado a promover a instalação de biodigestores em áreas demográficas comprovadamente carentes;

2. Art. 2º – Os setores a serem beneficiados com a instalação de biodigestores, através de suas associações de Moradores, terão a obrigatoriedade de aliar-se à construção de obra, mediante a cessão de mão-de-obra suficiente ao bom desempenho do pessoal técnico especializado, para que em estilo de "mutirão" se concretizem os serviços;
3. Art. 3º – As comunidades preferencialmente interessadas formularão processo à Secretaria de Obras, que, após estudos prévios indispensáveis ao planejamento e execução dos trabalhos viabilizará a instalação do biodigestor referido;
4. Art. 4º – Na hipótese da necessidade de reparo no equipamento para que seu funcionamento seja totalmente aproveitado pelos usuários fica usuários fica o órgão estadual mencionado no art. 3º, obrigado a atender as reclamações que lhe forem dirigidas;
5. Art. 5º – Esta Lei entrará em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

- Decisão Normativa nº 046, de 16 dezembro de 1992, publicada no Diário Oficial da União em 08 fevereiro de 1993, seção i, pág. 1.707
  1. As atividades de projeto, fabricação, montagem e manutenção de biodigestores – são enquadradas como atividades de engenharia e só podem ser executadas sob a responsabilidade técnica de profissional legalmente habilitado;
  2. Os profissionais da área da Engenharia Mecânica – serão responsabilizados tecnicamente pelas atividades descritas no artigo anterior;
  3. As atividades de construção, manutenção e operação de Biodigestores – são da competência do Engenheiro Mecânico, do Engenheiro Agrônomo e do Engenheiro Agrícola;
  4. A empresa que executar qualquer uma das atividades citadas nos itens 1 a 3 – deverá proceder a seu registro no CREA;

5. A critério da Câmara Especializada de Engenharia Industrial e Agronomia –  
dependendo do porte e atividade da empresa, poderá ser indicado um Técnico  
de 2º Grau para ser Responsável Técnico pela manutenção.

## 6 O PROCESSO DE BIODIGESTÃO

Um processo onde bactérias anaeróbias fazem a biodigestão da matéria orgânica. A palavra biodigestão é derivada da palavra grega Bios, que significa vida, e da palavra latina Digestione, que significa digestão. Cientificamente, biodigestão é um processo de degradação, transformação ou decomposição de substâncias vegetais e ou animais, conhecidas por Matéria Orgânica. Vários produtos sintéticos produzidos pelo homem também são passíveis de biodigestão, eles são conhecidos como Produtos Biodegradáveis.

### 6.1 Ataque das bactérias

A fermentação é um processo biológico altamente sensível, uma vez que envolve três grupos distintos de microrganismos. A produção de biogás depende da manutenção harmônica destes grupos. Alterações substanciais no meio de cultura ou nas condições indispensáveis à fermentação podem desequilibrar ou desativar a ação dos três grupos de bactérias, levando a produção gasosa a níveis insuficientes.

A decomposição da matéria orgânica, sob condições anaeróbicas, se divide em fases:

- Fase de hidrólise

Nesta fase as bactérias liberam no meio as chamadas enzimas extracelulares, as quais irão promover a hidrólise das partículas e transformar as moléculas maiores (matéria orgânica complexa) em moléculas menores (moléculas simples solúveis). As bactérias dessa fase transformam carboidratos, proteínas e lipídeos em açúcares, aminoácidos e peptídeos;

- Fase Ácida

Nesta fase, as bactérias são produtoras de ácidos e são chamadas de bactérias acidogênicas e acetogênicas. As bactérias acidogênicas transformam moléculas de proteínas, gorduras e carboidratos em ácidos orgânicos (ácido propiônico, ácido butílico), amônia, hidrogênio, dióxido de carbono, gás sulfídrico e outros. As bactérias acetogênicas transformam o ácido propiônico e o ácido butílico, proveniente do ataque das bactérias acidogênicas, em acetato, hidrogênio e

dióxido de carbono. Essas bactérias também são importantes por eliminarem qualquer traço de oxigênio que tenha permanecido no material orgânico.

- Fase Metanogênica

Nesta fase, as bactérias são chamadas de bactérias metanogênicas. As bactérias metanogênicas, como os *metanobacterium* e *metanococcus*, começam o seu serviço a onde termina o das bactérias formadoras de ácido. É sabido que mais de 70% de todo metano formado provém do acetato e que o resto vem do dióxido de carbono e do hidrogênio. Os compostos formados pela ação dessas bactérias são: Metano, Dióxido de Carbono, Hidrogênio, Nitrogênio, Gás Sulfídrico, Monóxido de Carbono, Amônia.

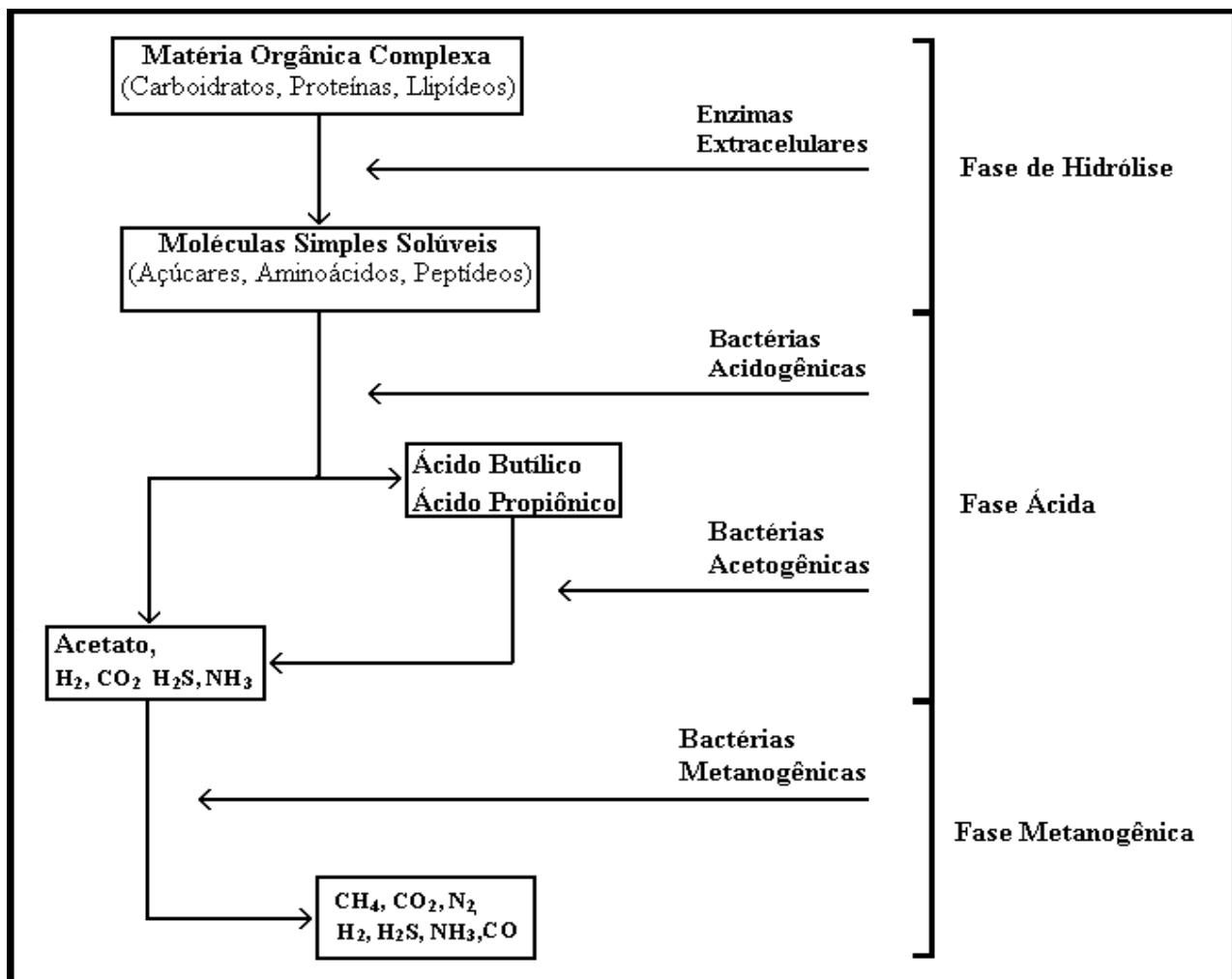


Figura 10 – demonstração de como ocorre o ataque das bactérias.

## 6.2 Condições indispesáveis à fermentação

As condições para que seja eficiente a produção de biogás pelos microorganismos anaeróbios está ligado a vários fatores, como:

- Temperatura adequada:

A digestão anaeróbia tem sido analisada entre o intervalo de 0°C à 97°C, sendo observado que o desenvolvimento dos microorganismos e consequentemente a produção de gás, está diretamente relacionado à temperatura no biodigestor. Também se observou que a taxa de produção de gás aumenta com a elevação da temperatura. Com isso, três grupos de bactérias metanogênicas são identificados quanto à temperatura, são elas:

1. Bactérias psicrofílicas – para temperaturas menores que 20°C.
2. Bactérias mesofílicas – para temperaturas entre 20 e 45°C;
3. Bactérias termofílicas – para temperaturas maiores que 45°C.

A temperatura no interior do digestor afeta sensivelmente a produção de biogás. Todos os microorganismos produtores de metano são muito sensíveis a mudanças bruscas de temperatura, uma oscilação de 2° C já afeta a produção. Para se evitar variações de temperatura, é recomendado que os biodigestores sejam enterrados, pois o solo é um bom isolante e estabilizador térmico. Em climas tropicais onde a temperatura é praticamente constante, com média acima de 24°C, os biodigestores dispensam sistemas adicionais de aquecimento. Entretanto, em regiões onde a temperatura cai, durante um certo período do ano, esses sistemas são necessários;

- Tempo de retenção

É o tempo necessário para que a mistura seja totalmente digerida pelas bactérias, tornando máxima a produção de gás. Se o material ficar retido por mais tempo do que o ideal, a produção de gás ficará menos eficiente. Se o material ficar retido por menos tempo do que o necessário, a pasta que sairá terá mau cheiro e poderá se tornar foco de microorganismos e insetos nocivos à saúde do homem,

além de não ser usado todo o potencial de produção de gás. Recomenda-se adotar, para biodigestores contínuos, tempos de retenção entre 20 e 30 dias;

O tempo de retenção pode ser diminuído pela agitação da mistura, adição de nutrientes ou pelo aumento da temperatura dentro do biodigestor. O excesso de água na mistura inibe a fermentação, aumentando o tempo de retenção;

- pH da mistura

A formação de gás se processa com mais intensidade quando o pH da mistura está entre 7 e 8. Em termos gerais, em um sistema com alimentação contínua de material orgânico, conclui-se que existem diversos fatores interagindo de modo a manter o pH na faixa ideal, em condições normais de operação. No início do processo de digestão, a população bacteriana terá mais bactérias formadoras de ácidos e um alto teor orgânico, o que tende a reduzir o pH. Quando as populações estão平衡adas, o pH se estabiliza em valores próximos a 7, desde que não ocorram mudanças súbitas nas condições de operação. Variações do pH são evitadas com cal ou com um meio tamponante, mantendo o pH original;

As soluções tampões mais importantes são:

1. CH<sub>3</sub>COOH e CH<sub>3</sub>COONa – ácido acético e acetato de sódio;
2. NH<sub>4</sub>OH e NH<sub>4</sub>CL – amoníaco e cianeto de amônio;
3. NaHCO<sub>3</sub> + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – bicarbonato de sódio e carbonato de sódio;
4. H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> e NaHCO<sub>3</sub> – ácido carbônico e bicarbonato de sódio.

A medição do pH é feita através da utilização de indicadores do tipo fenolfetalfina, papel de tornassol, metilorange, etc.

- Nutrientes presentes na mistura

Para o desenvolvimento bacteriano é necessário que a mistura contenha nutrientes que estimulem o crescimento. Como nutrientes bacterianos, podemos citar o carbono, o nitrogênio, o fósforo, o potássio e os sais orgânicos.

A principal fonte de nitrogênio são os dejetos humanos e animais, enquanto que os restos de culturas representam o principal fornecedor de carbono. O

carbono serve para fornecer energia e o nitrogênio para construir a estrutura das células. A produção de biogás realiza-se melhor quando o material que alimenta as bactérias anaeróbias contém uma certa quantidade da relação C/N. Como essas bactérias utilizam mais carbono do que nitrogênio, a relação específica de C/N deve ser mantida entre 20:1 e 30:1;

- **Substâncias tóxicas prejudiciais**

Qualquer elemento em excesso no biodigestor pode provocar sintomas de toxidez ao meio bacteriano, entretanto, é difícil uma definição exata da concentração em que estes elementos passam a ser nocivos, devido à complexidade do processo;

A presença de hidrocarbonetos-clorofórmio, inseticidas ou solventes industriais, constituem fortes agentes tóxicos à digestão anaeróbica. Substâncias como NaCl, Cu, Cr, NH<sub>3</sub>, K, Ca, Mg e Ni, são conciliáveis se mantidas abaixo de certas concentrações. O manual do Biodigestor Chinês cita o ABS (composto detergente) com uma concentração máxima admissível de 20 a 40 partes por milhão. Não se deve utilizar adubo químico junto com a mistura, pois a presença do fosfato de neve, em contato com o biogás, produz a fosfina (PH<sub>3</sub>), um gás muito tóxico;

- **Agitação da mistura**

A agitação contínua ou periódica da mistura permite atingir uma distribuição mais uniforme do substrato e das bactérias. Essa agitação propicia também uma distribuição mais uniforme da temperatura, uma utilização mais eficiente do volume do biodigestor e uma redução ou eliminação da escuma sobrenadante.

Essa agitação pode ser feita pelos seguintes processos:

1. Agitação com pás – uma ou mais pás são fixadas em um eixo que gira a baixa rotação. Este tipo de agitador é bastante ineficiente, ele não consegue agitar as porções mais afastadas do Biodigestor;
2. Agitação com hélices - consome cerca de 20% menos potência mecânica do que o agitador com pás. Esse sistema de agitação também apresenta diversas desvantagens, entre elas tem-se a limitação a meios menos viscosos e a necessidade de mancais;

3. Agitação pela recirculação da mistura - é uma das mais recomendáveis para se fazer a agitação. Neste caso são colocadas bombas e tubulações externamente ao biodigestor, o que simplifica a manutenção. As bombas adotadas devem ser de deslocamento positivo ou centrifugas, de rotor aberto. Tal equipamento pode ser móvel, e deslocado entre diversos digestores de um sistema, se necessário;
4. Agitação pela recirculação de gás - é o sistema de agitação mais sofisticado. Alguns autores citam que ocorre um efeito catalítico em tal método, proporcionando uma redução no tempo de resistência necessário. O sistema deve incluir um compressor, que é alimentado pelo biogás do topo do biodigestor e difundido como bolhas no fundo da mistura. É a ascensão destas bolhas que induz à turbulência e homogeneização do substrato. O tamanho das bolhas pode variar conforme o projeto, mas as maiores agitam mais vigorosamente.

A ausência de uma agitação faz com que o Biodigestor apresente três camadas em seu interior, com as seguintes características:

1. Camada superior - possui elevada taxa de matéria crua, pequena produção de bactérias e alta produção de ácidos;
  2. Camada intermediária – apresenta um material fermentado com poucos ácidos e poucas bactérias;
  3. Camada inferior – apresenta um acentuado teor de material digerido, com grandes quantidades de bactérias.
- Volume de carga  
O volume de carga diário no Biodigestor deve ser constante, para manter a estabilidade interna. Este volume de carga é representado por parte de água e parte de matéria orgânica;
  - Teor de Água

O teor da água varia de acordo com o tipo de insumo destinado à fermentação. A quantidade de água deve normalmente situar-se em torno de 50% do peso do insumo. Tanto o excesso, quanto à falta de água são prejudiciais;

- Impermeabilidade ao Ar

O Biodigestor deve estar perfeitamente vedado, para que à produção de biogás não seja inibida e para que não ocorra a dispersão de odores desagradáveis.

## 7 BIODIGESTORES MAIS CONHECIDOS

### 7.1 Modelo Indiano

Tem um sistema de produção contínuo, é vertical e tem um gasômetro flutuante acoplado ao corpo do Biodigestor, localizada abaixo do nível do terreno. O material do gasômetro é chapa de aço com teto cônicou reto, sendo usada também à fibra de vidro. O selo hidráulico do conjunto é garantido pelo peso do gasômetro. Possui geralmente a forma cilíndrica e é construído em alvenaria de tijolo ou concreto.

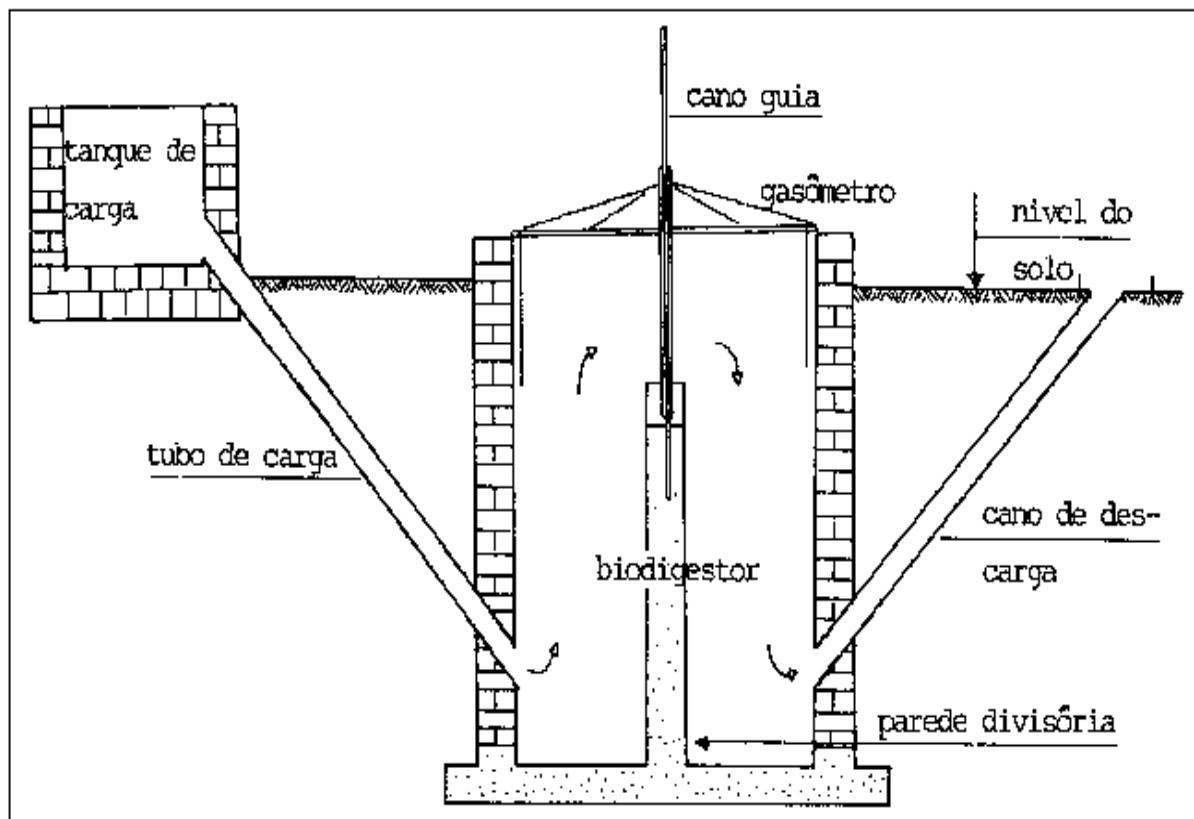


Figura 11 – desenho do Biodigestor Indiano.

### 7.2 Modelo Chinês

É um Biodigestor vertical e cilíndrico. Tem um gasômetro fixo, com as calotas superior e inferior constituídas em alvenaria de tijolos ou em concreto. Esse modelo é situado abaixo do nível do terreno.

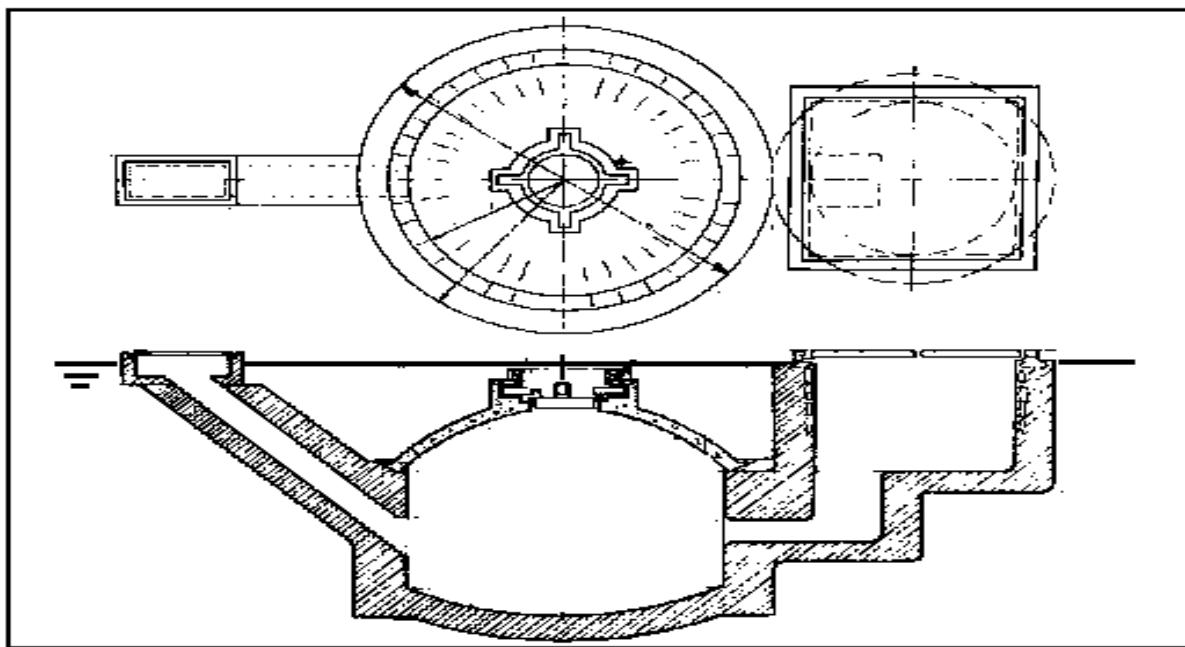


Figura 12 – desenho do Biodigestor Chinês.

### 7.3 Modelo Marinha

É do tipo horizontal, com o Biodigestor acima ou abaixo do solo. Tem o gasômetro construído em fibra plástica inflável. Tem como característica principal à facilidade de acoplar diversos módulos em série, constituindo um conjunto de quatro ou cinco unidades de biodigestão.

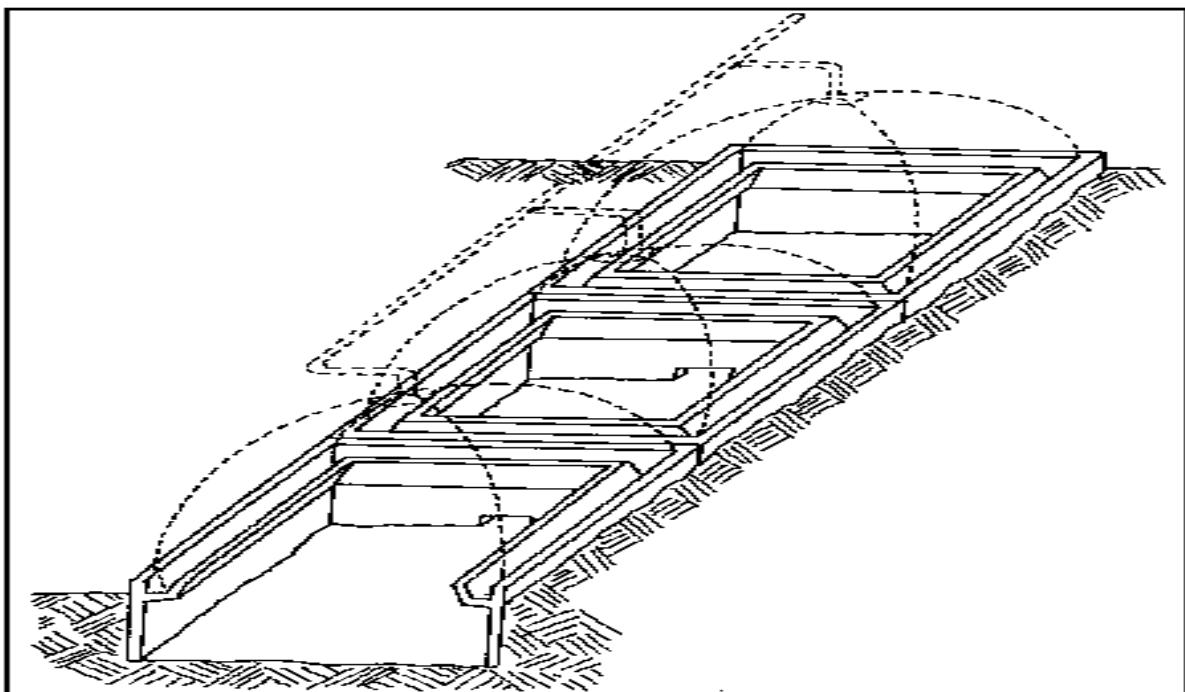


Figura 13 – desenho do Biodigestor Modelo Marinha.

#### 7.4 Modelo Plastisol

É do tipo horizontal, com o Biodigestor abaixo do nível do solo. Tem um gasômetro do tipo inflável e de plástico.

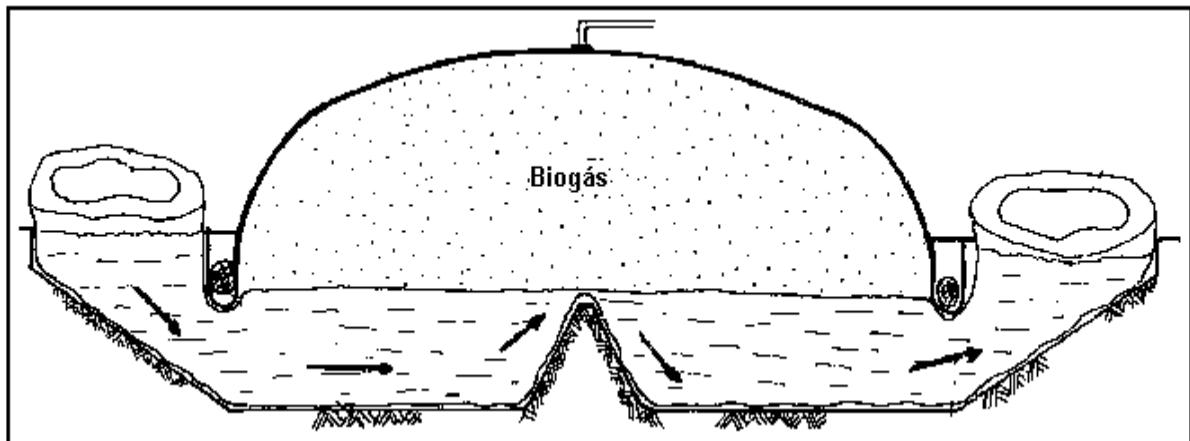


Figura 14 – desenho do Biodigestor Modelo Plastisol.

#### 7.5 Modelo Apótema I

É uma combinação do modelo indiano com o modelo chinês, apresentando um gasômetro fixo.

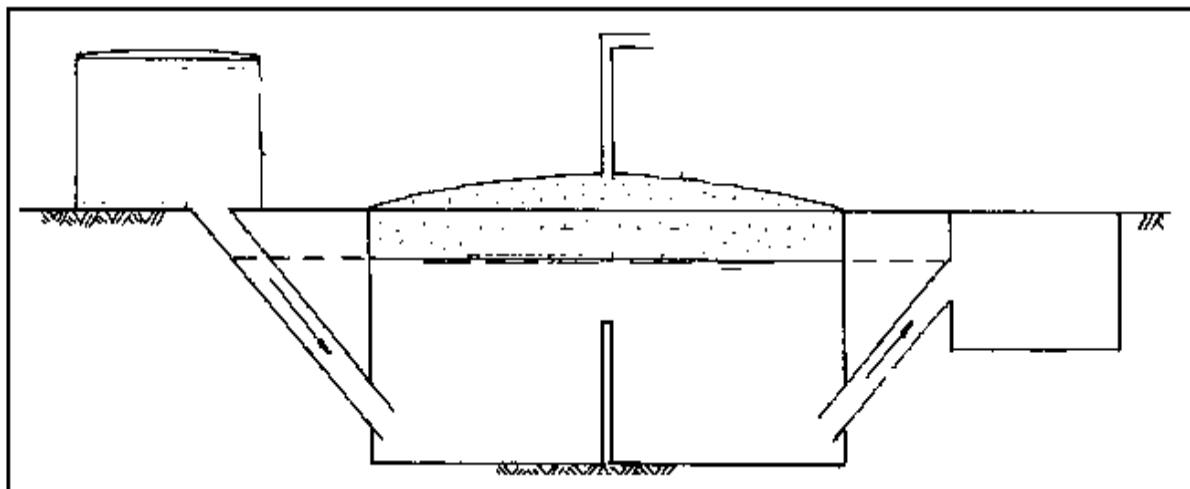


Figura 15 – desenho do Biodigestor Modelo Apótema I.

#### 7.6 Modelo Apótema II

É uma adaptação econômica do modelo indiano, e uma variação do modelo apótema I, apresentando o gasômetro flutuante.

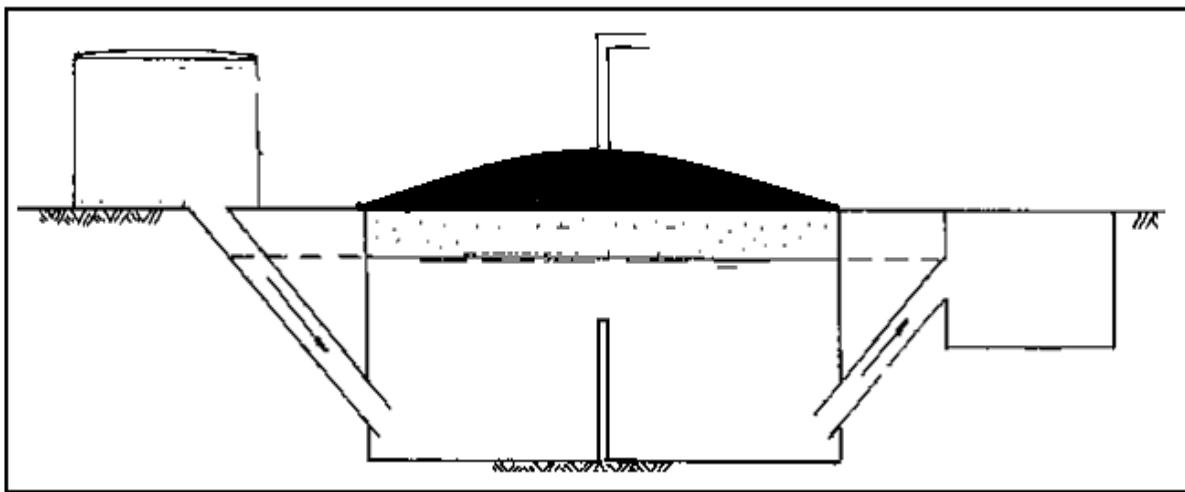


Figura 16 – desenho do Biodigestor Modelo Apótema II.

## 7.7 Modelos em Vinimanta

Ultimamente, são os mais utilizados, apresenta uma nova tecnologia e é muito eficiente. Ele é prismático, horizontal e subterrâneo. O gasômetro é feito com uma Vinimanta plástica de PVC flexível (Policloreto de Vinila), que possui grande flexibilidade, podendo alongar e retrair sem perda da resistência. A base do biodigestor pode ser feita de alvenaria ou com a mesma Vinimanta usada no gasômetro.

A Vinimanta plástica de PVC flexível apresenta as seguintes características:

- Avançada tecnologia;
- Resistência e durabilidade;
- Resistência ao intemperismo;
- Baixo custo em relação à alvenaria;
- Instalação rápida;
- Flexibilidade que facilita o transporte e manuseio;
- Permite desmontagem e remontagem em outro lugar;
- As soldas são feitas pelo fabricante, com total garantia de sua eficácia e durabilidade;
- Em caso de furos, rasgos ou danos ocorridos, a lona pode ser convenientemente reparada sem o comprometimento de sua utilização futura.



Figura 17 – foto do Biodigestor Modelo de Vinimanta.

## **8 BIODIGESTOR PROPOSTO PARA A USINA DE LIXO DE VITÓRIA**

A proposta do projeto é utilizar todo o lixo orgânico que a Usina recebe diariamente. Como é necessário que se faça uma mistura contendo 50% de sólido e 50% de líquido, em volume, foi proposto que o líquido a ser utilizar será o esgoto da cidade de Vitória. O esgoto será enviado até à Usina por empresas que fazem a limpeza de fossas. Essas empresas foram autorizadas pela CESAN a despejar no Biodigestor da Usina o esgoto recolhido por seus caminhões. Com a substituição da água pelo esgoto, o projeto terá a vantagem de não precisar gastar com o transporte, ao contrário da água. Como o esgoto urbano de Vitória apresenta-se bem diluído, contendo apenas 4% de parte sólida, ele substituirá perfeitamente a água. Com a adição do esgoto, a sua parte sólida (composta de proteínas, carboidratos e gordura) se juntará ao lixo orgânico, aumentando assim a eficiência na produção de biogás. Além disso, o Biodigestor servirá como um meio de se tratar o esgoto, prevenindo e reduzindo doenças (causadas por vírus, bactérias, vermes, protozoários e outros agentes nocivos à saúde) e evitando a poluição e a contaminação de nossas praias e manguezais, preservando com isso a fauna e a flora aquática.

Sabe-se que 250 toneladas é a média diária de lixo que chega à Usina, sendo 112,8 toneladas (45,12%) de material orgânico. Com isso, foi proposta a implantação de um Biodigestor para gerar energia elétrica e biofertilizante a partir da matéria orgânica desse lixo. Para que a biodigestão seja eficiente, é necessária a retirada de toda parte inorgânica presente no lixo, antes de entrar no Tanque de biodigestão. Atualmente, de todo lixo que entra na Usina, apenas 10% é reciclado, sendo necessário aumentar para 30%, que é o percentual possível de se reciclar.



Figura 18 – área de reciclagem da Usina de Lixo Vitória.

Para que o percentual de 30% seja alcançado, será necessário fazer algumas modificações, como:

1. Aumentar do número de turnos – Atualmente, os turnos de trabalhos na Usina são de 6:00 às 12:00 horas e de 12:00 às 18:00 horas. Com a implantação do projeto, haverá um acréscimo de mais dois turnos, um de 18:00 às 24:00 horas e o outro de 24:00 às 6:00. A Usina também funcionaria aos domingos, para que o processo não seja interrompido;
2. Aumentar o número de funcionários trabalhando nas esteiras de triagem – Atualmente, um total de 56 funcionários trabalham divididos em duas esteiras de triagem, sendo que cada esteira contém 14 funcionários trabalhando em cada lado. Com a implantação do projeto, mais 56 pessoas serão alocadas nessas duas esteiras de triagem. Esses novos funcionários serão distribuídos na parte inclinada da esteira, onde será feita uma estrutura metálica em forma de escada. Com o aumento do número de funcionários no processo, será possível retirar da fração inorgânica tanto a parte reciclável quanto a que não é reciclável, pois essa parte não pode participar do processo de biodigestão. Para que a retirada dessa matéria inorgânica seja eficiente, as esteiras também terão uma redução em sua

velocidade, facilitando assim a visualização e a retirada de toda parte inorgânica presente no lixo. Como a quantidade de lixo reciclável aumentará em 30%, também será necessário contratar funcionários para trabalhar nas prenças, na separação dos recicláveis e em outros processos da Usina. A contratação de Engenheiros e Técnicos também será necessário, já que o processo envolve um grande conhecimento na operação e manutenção do Biodigestor. Além disso, existe a alta tecnologia dos equipamentos, necessitando assim de especialistas acompanhando todo o processo.



Figura 19 – foto das esteiras de triagem na Usina de Lixo de Vitória.

3. Instalar um Rolo Magnético – o Rolo magnético tem a finalidade de retirar os metais ferrosos que não foram separados pela triagem, evitando assim que eles caem no triturador e posteriormente dentro do Biodigestor. Esse Rolo ficará localizado no final da esteira de triagem.

Como os resultados experimentais da biodigestão do lixo orgânico mais esgoto ainda não são conhecidos, é necessário que se faça um Biodigestor Piloto antes de implantar o Biodigestor na Usina de Lixo de Vitória. O projeto piloto foi proposto com a intenção de revelar quais são os valores exatos da quantidade de metano e de nutrientes presentes no biofertilizante. A partir desses valores será possível fazer os cálculos reais para construir o Biodigestor na Usina de Lixo de Vitória.

### 8.1 Descrição do processo

A fração orgânica do lixo ao passar pelas esteiras e pelo rolo magnético cairá diretamente no triturador, sendo triturada até um diâmetro de 3cm<sup>2</sup>. Em seguida esse lixo, agora triturado, cairá no Tanque de mistura, onde haverá a homogeneização do lixo orgânico mais o esgoto. O esgoto ficará armazenado em um reservatório localizado acima do nível do Tanque de mistura. Essa homogeneização será feita através de quatro agitadores mecânicos.

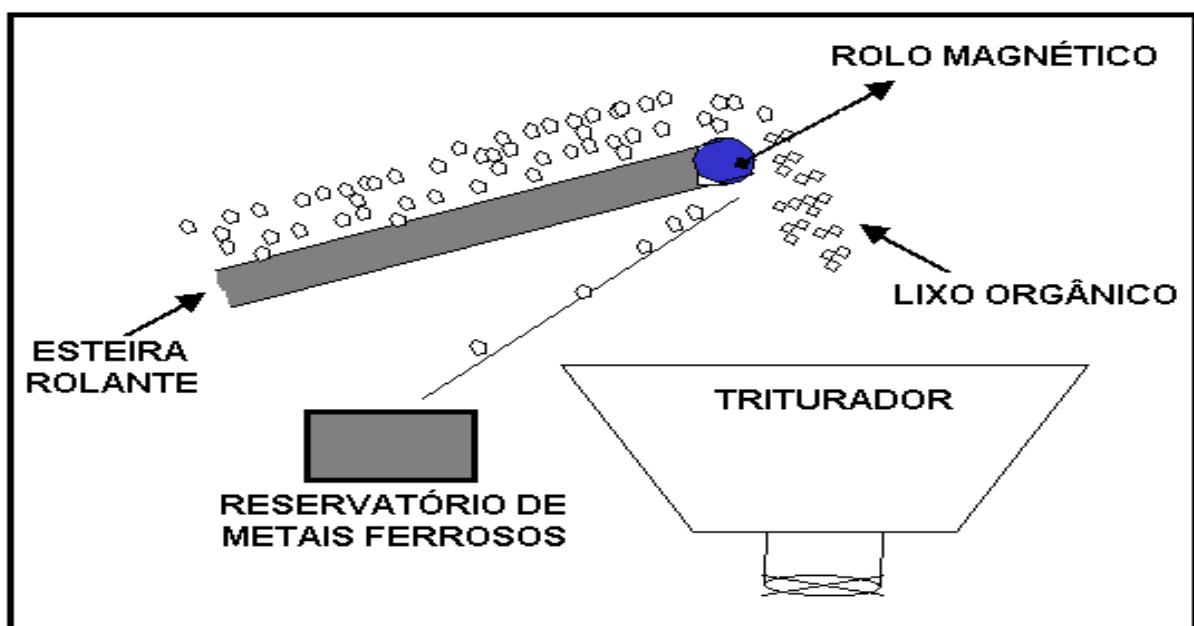


Figura 20 – desenho do inicio do processo de trituração do lixo orgânico.

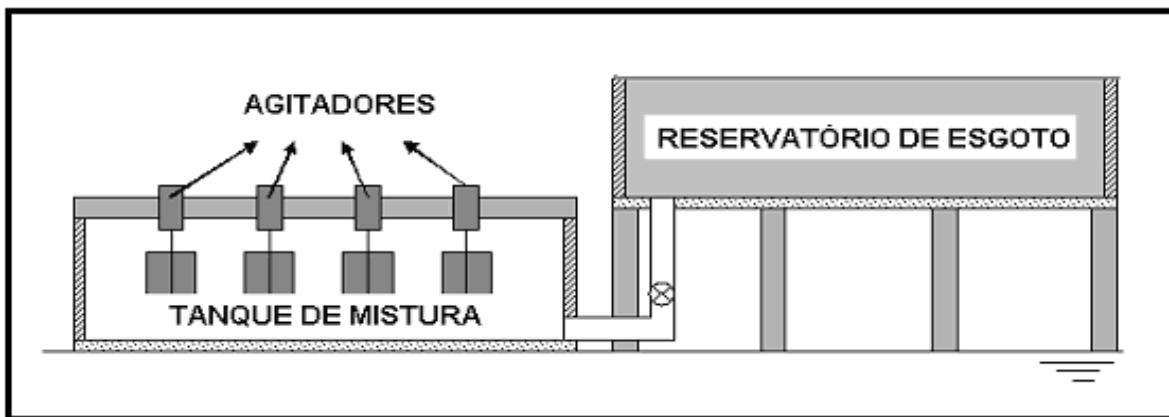


Figura 21 – desenho Tanque de mistura e do Reservatório de esgoto.

O esgoto ficará armazenado em um reservatório localizado acima do nível do Tanque de mistura. Após a homogeneização, serão abertas válvulas localizadas entre os Tanques de mistura e de biodigestão, assim, a mistura repassada para o Tanque de biodigestão será decomposta pelas bactérias anaeróbias. Como o Biodigestor da Usina de Lixo será do tipo contínuo, com tempo de retenção de 25 dias, o projeto tem o Tanque de biodigestão dividido por três paredes, ficando assim com quatro partes internas iguais. Essas paredes têm a finalidade de não deixar que a mistura que acabou de entrar se misture com a que já está em alto grau de decomposição e pronta para ser despejada para fora do tanque de biodigestão. No período de 25 dias de digestão da mistura, todo o biogás produzido foi enviado até um moto-gerador, sendo transformado em energia elétrica. Após esse período, a mistura já digerida é encaminhada até um Tanque de descarga, através do Tubo de descarga. Nesse Tanque será despejado o biofertilizante, que em seguida será separado em parte líquida e parte sólida. A separação será feita através de uma tela de aço inox sob uma camada de brita número 2, tendo no fundo do Tanque uma pequena inclinação direcionando o líquido até uma canaleta, que facilitará o seu manejo. A parte sólida do biofertilizante será encaminhada por operadores até uma abertura localizada no final do Tanque de descarga.

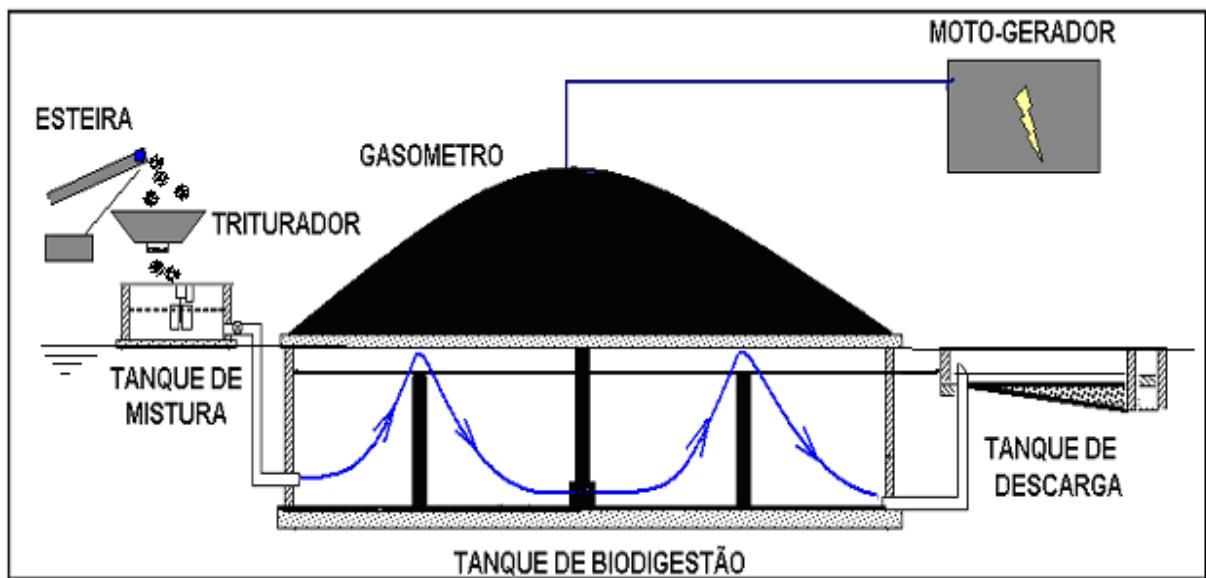


Figura 22 – visualização do fluxo da mistura, dentro do Tanque de biodigestão.

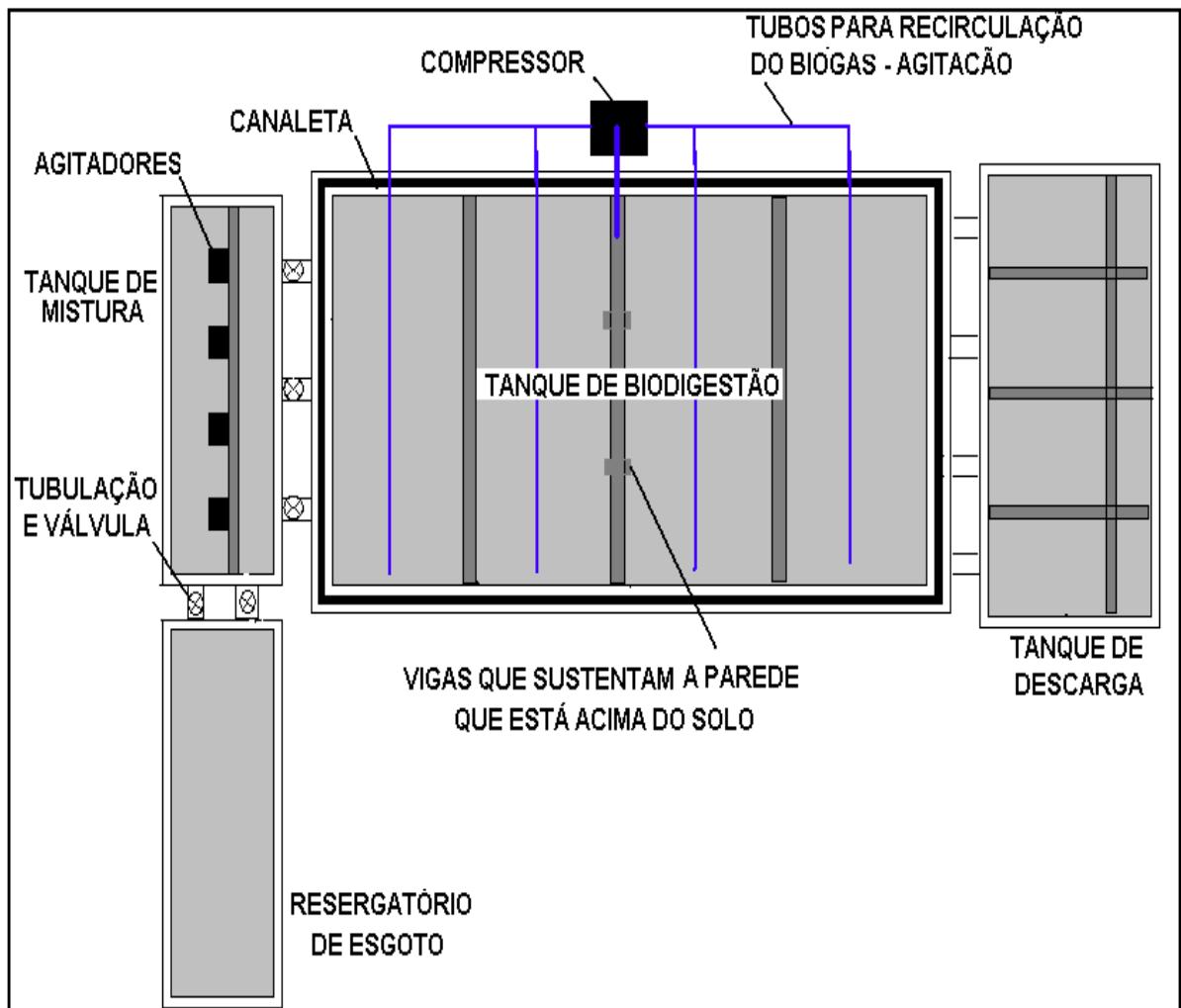


Figura 23 – desenho esquemático do processo.

## 8.2 Estruturas e equipamentos usados no processo

- Rolo Magnético

Tem a finalidade de retirar os metais ferrosos que estão presentes no lixo, evitando com isso problemas na biodigestão.

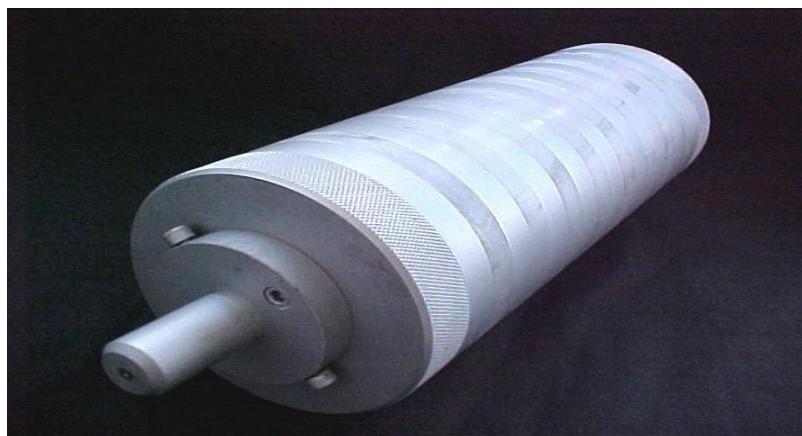


Figura 24 – foto do Rolo Magnético.

- Triturador

Tem a função de triturar todo o lixo orgânico, antes que ele seja despejado no Tanque de mistura, melhorando com isso a homogeneização da mistura e a eficiência da biodigestão. O modelo de triturador que será utilizado no projeto é o Triturador Industrial K15/100, com capacidade de triturar até 15.000 kg/h de lixo orgânico. Ele é formado por uma câmara de trituração que contém dois eixos rolantes, munidos de 35 facas com diferentes espessuras e tamanhos.



Figura 25 – foto do Triturador.

- Agitadores do Tanque de mistura

São quatro agitadores mecânicos que tem a função de homogeneizar o lixo orgânico triturado mais o esgoto. Esses agitadores serão movidos por quatro pequenos motores elétricos.

- Agitador do tanque de biodigestão

Essa agitação será feita por recirculação de gás. O sistema será alimentado por um compressor que, através de tubulações, levará o biogás de dentro do Biodigestor até o fundo da mistura do Tanque de biodigestão, difundido o biogás como bolhas no fundo. É a ascensão destas bolhas que induz à turbulência e homogeneização do substrato. O tamanho das bolhas pode variar conforme o projeto, mas as maiores agitam mais vigorosamente. É recomendado o máximo de cuidado com a passagem do biogás pelo compressor, por questões de segurança.



Figura 26 – foto do compressor de gás.

- Gasômetro

Tem a finalidade de armazenar o biogás a uma certa pressão interna. Quando essa pressão limite é ultrapassada, o biogás em excesso é eliminado por um queimador de gás ligado ao gasômetro. A medição dessa pressão interna é feita por um manômetro de segurança, que se abre quando a pressão é ultrapassada, permitido assim a queima do biogás. O biogás, quando não é queimado, segui

através de tubulações a um moto-gerador, onde transformará o biogás em energia elétrica.

O gasômetro será fixado em uma canaleta localizada em toda borda do tanque de biodigestão. Depois de feita essa fixação, uma coluna d'água sob a canaleta evitará que o biogás escape.



Figura 27 – foto da canaleta onde se fixa o gasômetro.

O gasômetro escolhido para o projeto é feito com uma Vinimanta plástica de PVC flexível (Policloreto de Vinila), que possui grande flexibilidade, podendo alongar e retrair sem perda da resistência.



Figura 28 – foto de um Biodigestor com gasômetro de vinimanta.

- Purificadores

Tem a função de fazer a purificação do biogás antes que ele seja utilizado. O biogás não tratado apresenta altas quantidades de  $H_2S$  e  $CO^2$ , que prejudicam os equipamentos e a combustão. A queima de  $H_2S$  produz  $SO_2/SO_3$ , que contamina o Meio Ambiente e provoca a "chuva ácida". O óleo lubrificante de motores de combustão interna é contaminado quando se usa como combustível, o gás com  $H_2S$ , logo, a vida útil do motor é diminuída. O sistema de purificação que será utilizado no projeto já vem embutido dentro do moto-gerador.

- Moto-gerador

Tem a função de transformar o biogás, depois de purificado, em energia elétrica. De acordo com os cálculos que ainda serão apresentados, o projeto necessita de um moto-gerador com uma potência de 208,72 CV, para uma vazão de  $352,5\ m^3/h$ . Para que essa relação seja atendida, será usado dois moto-geradores modelo LANDSET – 250, que apresenta uma potência de até 250CV, para uma vazão de  $150\ m^3/h$  a  $180\ m^3/h$ .



Figura 29 – foto do Moto-gerador.

### 8.3 Cálculos do projeto

- Cálculo da quantidade de biogás que pode ser gerado pelo lixo orgânico, no Biodigestor Real

Na Usina de Lixo de Vitória chegam diariamente 250 toneladas lixo, sendo 112,8 toneladas somente de lixo orgânico.

Como:

1 tonelada de lixo orgânico equivale a 75 m<sup>3</sup> de biogás [2]

Então:

112,80 x 75 = 8460 m<sup>3</sup> / dia = 352,50 m<sup>3</sup> / h de biogás gerado pelo lixo orgânico.

- Cálculo da potência do Moto-gerador para o Biodigestor Real

Como:

1kwh ----- 0,62 m<sup>3</sup> biogás [3]

P-----352,50 m<sup>3</sup> / h

Então:

P = 568,55 kWh

Utilizando motor com rendimento de 30 % e um gerador com rendimento de 90% temos:

Potência do Moto-gerador = 568,55 x 0,3 x 0,9 = 153,51 kWh.= 208,72 CV

- Cálculos de Densidade Média

1. Densidade Media da matéria orgânica (DM mo).

Amostra 1: 200ml mo e 110g mo

$$D1 = 110/200 = 0,550 \text{ g/ml}$$

Amostra 2: 200ml mo e 105 g mo

$$D2 = 105/200 = 0,525 \text{ g/ml}$$

Amostra 3: 200ml mo e 115 g mo

$$D3 = 115/200 = 0,575 \text{ g/ml}$$

Amostra 4: 200ml mo e 110 g mo

$$D4 = 110/200 = 0,550 \text{ g/ml}$$

Amostra 5: 200ml mo e 110g mo

$$D5 = 110/200 = 0,550 \text{ g/ml}$$

$$DM \text{ mo} = (d1 + d2 + d3 + d4 + d5) / 5 = 0550 \text{ g/ml} = 0,550 \text{ t/m}^3$$

## 2. Densidade Média do esgoto (DM e)

Amostra 1: 200ml e 190g

$$D1 = 190/200 = 0,950 \text{ g/ml}$$

Amostra 2: 200ml e 195g

$$D2 = 195/200 = 0,975 \text{ g/ml}$$

Amostra3: 200ml e 190g

$$D3 = 190/200 = 0,950 \text{ g/ml}$$

Amostra4: 200ml e 195g

$$D4 = 195/200 = 0,975 \text{ g/ml}$$

Amostra5: 200ml e 190g

$$D5 = 190/200 = 0,950 \text{ g/ml}$$

$$DM \text{ e} = (D1+D2+D3+D4+D5)/5 = 0,960 \text{ g/ml} = 960 \text{ t/m}^3$$

## 3. Densidade Média da matéria orgânica + esgoto (DM mo+e)

Amostra1: 200ml mo + 200ml e = 275ml

$$110g \text{ mo} + 190g \text{ e} = 300g$$

$$D1 = 300/275 = 1,091 \text{ g/ml}$$

Amostra2: 200ml mo + 200ml e = 300ml

$$105g \text{ mo} + 195g \text{ e} = 300g$$

$$D2 = 300/300 = 1\text{g/ml}$$

Amostra3: 200ml mo + 200ml e = 280 ml

$$115\text{ g mo} + 190\text{ g e} = 305\text{g}$$

$$D3 = 305\text{g}/280\text{ml} = 1,089\text{ g/ml}$$

Amostra4 = 200ml mo + 200 ml e = 300ml

$$110\text{g mo} + 195\text{g e} = 305\text{g}$$

$$D4 = 305/300 = 1,017\text{ g/ml}$$

Amostra5 = 200 ml mo + 200 ml e = 290ml

$$110\text{g mo} + 190\text{ g e} = 300\text{g}$$

$$D5 = 300/290 = 1,034\text{ g/ml}$$

$$DM (\text{mo} + \text{e}) = (d1+d2+d3+d4+d5)/5 = 1,046\text{ g/ml} = 1,046\text{ t/m}^3$$

#### 4. Densidade Média da matéria orgânica + H<sub>2</sub>O (DM mo + H<sub>2</sub>O)

Amostra1 = 200ml mo + 200 ml H<sub>2</sub>O = 290ml

$$110\text{ g mo} + 195\text{ g H}_2\text{O} = 305\text{g}$$

$$D1 = 305\text{g}/290\text{ml} = 1,051\text{ g/ml}$$

Amostra2 = 200ml mo + 200 ml H<sub>2</sub>O = 295ml

$$105\text{ g mo} + 195\text{ g H}_2\text{O} = 300\text{g}$$

$$D2 = 300\text{g}/295\text{ml} = 1,017\text{ g/ml}$$

Amostra3 = 200ml mo + 200 ml H<sub>2</sub>O = 290ml

$$110\text{ g mo} + 200\text{ g H}_2\text{O} = 310\text{g}$$

$$D3 = 310\text{g}/290\text{ml} = 1,069\text{ g/ml}$$

Amostra4 = 200ml mo + 200 ml H<sub>2</sub>O = 285ml

$$110\text{ g mo} + 190\text{ g H}_2\text{O} = 290\text{g}$$

$$D4 = 290\text{g}/285\text{ml} = 1,017\text{ g/ml}$$

Amostra5 = 200ml mo + 200 ml H<sub>2</sub>O = 290ml

$$105\text{ g mo} + 200\text{ g H}_2\text{O} = 305\text{g}$$

$$D5 = 305\text{g}/290\text{ml} = 1,051\text{ g/ml}$$

$$DM (mo + H_2O) = (d1+d2+d3+d4+d5)/5 = 1,041g/ml = 1,041t/m^3$$

- Cálculo do volume do Tanque de biodigestão para o Biogestor Real

Com:

112,8 t/dia de lixo orgânico

DM mo = 0,55t/m<sup>3</sup>

Densidade = massa/volume

Então:

$$V_{mo} = 112,8/0,55 = 205,1 \text{ m}^3$$

Para a proporção em volume de 50% de matéria orgânica + 50% de esgoto:

$$V_{mo} = V_e = 205,1 \text{ m}^3$$

$$DM_e = 0,96 \text{ t/m}^3$$

$$DM_e = M_e / V_e$$

$$M_e = D_e \times V_e$$

$$M_e = 0,96 \times 205,1 = 196,9 \text{ t}$$

Como:

$$M_e + M_{mo} = M_t$$

$$M_t = 196,9 + 112,8 = 309,69 \text{ t}$$

Então:

$$DM (mo + e) = 1,046 \text{ t/m}^3$$

$$D(mo + e) = M_t / V_t$$

$$1,046 = 309,69 / V_t$$

$$V_t = 296,1 \text{ m}^3$$

Logo:

O volume da mistura que entrará diariamente no Tanque de biodigestão do Biogestor Real é de 296,1 m<sup>3</sup>

- Cálculo da quantidade de biogás que pode ser gerado pelo lixo orgânico, no Biodigestor Piloto.

Para:

$$\text{Volume de lixo orgânico} = 0,5 \text{ m}^3$$

$$\text{DM mo} = 0,550 \text{ t/m}^3$$

Logo:

$$\text{M mo} = 0,275 \text{ t.}$$

Como:

$$75\text{m}^3 \text{ de biogás} \dots \dots \dots 1 \text{ t} [2]$$

$$v \dots \dots \dots 0,275 \text{ t}$$

Então:

$$v = 20,63 \text{ m}^3/\text{dia} = 0,86 \text{ m}^3/\text{h} \text{ de biogás gerado}$$

- Cálculo da potência do motor para o Biodigestor Piloto Utilizando um motor com rendimento de 30%, temos:

$$1 \text{ CV} \dots \dots \dots 0,424 \text{ m}^3/\text{h} \text{ de biogás} [3]$$

$$p \dots \dots \dots 0,86 \text{ m}^3/\text{h}$$

Logo:

$$p = 2,03 \text{ CV} = \text{Potência do motor para o Projeto Piloto}$$

- Cálculo do volume do Tanque de biodigestão para o Biodigestor Piloto

Para:

$$\text{Volume de } 0,5 \text{ m}^3 \text{ de lixo orgânica}$$

$$\text{Volume de esgoto igual ao do lixo orgânico, } V_e = 0,5 \text{ m}^3.$$

$$\text{DM mo} = 0,55 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Densidade} = \text{Massa}/\text{Volume}$$

$$0,55 = M_{mo}/0,5$$

$$M_{mo} = 0,275 \text{ t}$$

Como:

$$DM_{me} = 0,96 \text{ t/m}^3$$

$$0,96 = M_e/0,5$$

$$M_e = 0,480 \text{ t}$$

$$Mt = M_{mo} + M_e = 0,755 \text{ t}$$

$$DM_{mo+e} = 1,046 \text{ t m}^3$$

Então:

$$DM_{mo+e} = Mt/ v_t$$

$$1,046 = 0,755 / v_t$$

$$v_t = 0,722 \text{ m}^3$$

Logo:

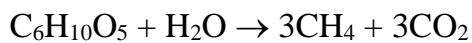
O volume da mistura que entrará diariamente no Tanque de biodigestão do Biogestor Piloto é de 0,722 m<sup>3</sup>

- Cálculo da Exergia

Exergia é definida como a quantidade de trabalho que uma certa substância pode via a realizar.

Todas as propriedades termodinâmicas foram obtidas a partir das tabelas A.6, A.8, A.9 e B.7.2 [4]

Para a reação onde entra o lixo orgânico mais água, tem-se:



25°C

35°C

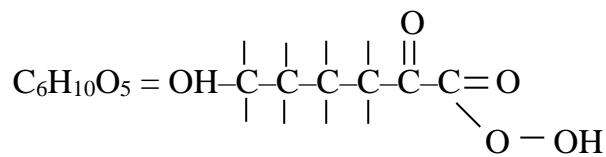
$$\dot{E} = \bullet[n[(\bar{h}_{fC_6H_{10}O_5} + \bar{h}_{fH_2O}) - 3\bar{h}_{fCH_4} - 3\bar{\Delta}h_{fCH_4} - 3\bar{h}_{fCO_2} - 3\bar{\Delta}h_{fCO_2} - T_0(\bar{S}_{C_6H_{10}O_5} + \bar{S}_{H_2O} - 3\bar{S}_{CH_4} - 3\bar{S}_{CH_4})]]$$

$\bar{h}_{fC_6H_{10}O}$  → Pelo Método de Yoneda →  $\Delta\bar{H}_f(298) = \sum n_j \cdot \Delta H$  [5]

Para  $C_6H_{10}O_5$  temos:  $4x (-CH_2-) \rightarrow \Delta H = -26,59 \text{ KJ/mol}$

$2x (-OH) \rightarrow \Delta H = -119,07 \text{ KJ/mol}$

$1x (-COOCO-) \rightarrow \Delta H = -470,26 \text{ KJ/mol}$



Então:

$$\Delta H_{fC_6H_{10}O} = 4.(-26,59) + 2.(-119,07) + 1.(-470,26)$$

$$\Delta H_{fC_6H_{10}O} = -814,76 \text{ KJ/mol}$$

Como:

$$\bar{h}_{fC_6H_{10}O(298)} \rightarrow \text{KJ/mol} \rightarrow \Delta H_{fC_6H_{10}O(298)} = -814\ 760 \text{ KJ/Kmol}$$

$$\bar{h}_{fH_2O} = -285\ 830 \text{ KJ/Kmol}$$

$$\bar{h}_{fCH_4} = -74873 \text{ KJ/Kmol}$$

$$\bar{\Delta}h_{CH_4} = \bar{c}_p \cdot \Delta T$$

$$\text{Sendo } \theta = (308+298/2)/100 = 3,03$$

$$\bar{C}_p = 36,238 \text{ KJ/K mol K}$$

$$\bar{\Delta}h_{CH_4} = 36,238 \times (308 - 298)$$

$$\bar{\Delta}h_{CH_4} = 362,38 \text{ KJ/K mol}$$

$$\overline{h}_{fco2} = -393522 \text{ KJ/K mol}$$

$$\overline{\Delta h}_{co2} = 383,72 \text{ KJ/K mol}$$

$$\overline{S}_{C6H10O} \rightarrow \text{Pelo Método de Yoneda} \rightarrow S_{(298)} = \sum n_j \Delta S [5]$$

$$\text{Para } C_6H_{10}O_5 \text{ temos: } 4x (-CH_2-) \rightarrow \Delta S = 27,34 \text{ J/molK}$$

$$2x (-OH) \rightarrow \Delta S = 8,62 \text{ J/molK}$$

$$1x (-COOCO-) \rightarrow \Delta S = 116,94 \text{ J/molK}$$

Então:

$$S_{(298)} = 4 \times 27,34 + 2 \times 8,62 + 1 \times 116,94$$

$$S_{(298)} = 243,54 \text{ J/molK} \rightarrow \overline{S}^{\circ}_{C6H10O} = 243,54 \text{ KJ/KmolK}$$

Correção da Entropia  $\rightarrow \overline{S}^{\circ} = \overline{S}^{\circ}_T - \overline{R} \ln (y_i)$ , sendo  $y_i$  a fração molar do composto e  $\overline{R} = 8,314 \text{ KJ/KmolK}$

$$\overline{S}^{\circ}_{C6H10O} = 249,30 \text{ KJ/KmolK} \text{ (com correção)}$$

$$\overline{S}^{\circ}_{H2O} = 69,95 \text{ KJ/KmolK} \quad S^{\circ}_{H2O} = 75,7 \text{ KJ/KmolK} \text{ (com correção)}$$

$$\overline{S}^{\circ}_{CH4} = 11,694 \text{ KJ/KgK}$$

$$M_{CH4} = 16$$

$$\overline{S}^{\circ}_{CH4} = 187,104 \text{ KJ/KmolK}$$

$$\overline{S}^{\circ}_{CH4} = 192,86 \text{ KJ/KmolK} \text{ (com correção)}$$

$$\overline{S}^{\circ}_{CO2} = 214,92 \text{ KJ/ KmolK}$$

$$\overline{S}^{\circ}_{CO2} = 220,67 \text{ KJ/KmolK} \text{ (com correção)}$$

$$\bullet \dot{n} = m_{C6H10O} / M_{C6H10O} = 112800 / 162 = 696,296 \text{ Kg/mol}$$

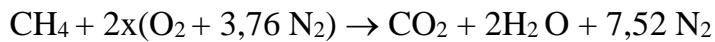
Então:

$$E = 696,296 \times [(-814,760 - 285,830) - 3 \times (-74873) - 3 \times (362,38) -$$

$$3x(-393522) - 3(383,72) - 298(249,30 + 75,7 - 3(192,86) - 3(220,67))]$$

$$E = 4 \times 10^8 \text{ kJ/dia} = 4,6 \text{ MW}$$

Para a reação de combustão do metano:



35°C

25°C

$$\bar{E}_R^\circ = [(\bar{h}_f^\circ_{\text{CH}_4} + \Delta\bar{h}_f^\circ_{\text{CH}_4} + 2 \bar{h}_f^\circ_{\text{O}_2} + 2 \Delta\bar{h}_f^\circ_{\text{O}_2} + 7,52 \bar{h}_f^\circ_{\text{N}_2} + 7,52 \Delta\bar{h}_f^\circ_{\text{N}_2}) - T_0(\bar{S}^\circ_{\text{CH}_4} + 2 \bar{S}^\circ_{\text{O}_2} + 7,52 \bar{S}^\circ_{\text{N}_2})] - [(\bar{h}_f^\circ_{\text{CO}_2} + \Delta\bar{h}_f^\circ_{\text{CO}_2} + 2 \bar{h}_f^\circ_{\text{H}_2\text{O}} + 2 \Delta\bar{h}_f^\circ_{\text{H}_2\text{O}} + 7,52 \bar{h}_f^\circ_{\text{N}_2} + 7,52 \Delta\bar{h}_f^\circ_{\text{N}_2}) - T_0(\bar{S}^\circ_{\text{CO}_2} + 2 \bar{S}^\circ_{\text{H}_2\text{O}} + 7,52 \bar{S}^\circ_{\text{N}_2})]$$

$$\bar{h}_f^\circ_{\text{CH}_4} = -74873 \text{ KJ/Kmol}$$

$$\Delta\bar{h}_f^\circ_{\text{CH}_4} = 362,38 \text{ KJ/K mol}$$

$$\bar{h}_f^\circ_{\text{O}_2} = 0$$

$$\Delta\bar{h}_f^\circ_{\text{O}_2} = 291,84 \text{ KJ/K mol}$$

$$\bar{h}_f^\circ_{\text{N}_2} = 0$$

$$\Delta\bar{h}_f^\circ_{\text{N}_2} = 287,36$$

Correção da Entropia  $\rightarrow \bar{S}^\circ = \bar{S}^\circ_T - \bar{R} \ln(y_i)$ , sendo  $y_i$  a fração molar do composto e  $\bar{R} = 8,314$ .

$$\bar{S}^\circ_{\text{CH}_4} = 187,104 \text{ KJ/KmolK} \rightarrow 206,67 \text{ KJ/KmolK} \text{ (correção)}$$

$$\bar{S}^\circ_{\text{O}_2} = 206 \text{ KJ/KmolK} \rightarrow 219,8 \text{ KJ/KmolK} \text{ (correção)},$$

$$\bar{S}^\circ_{\text{N}_2} = 192,88 \text{ KJ/KmolK} \rightarrow 195,67 \text{ KJ/KmolK} \text{ (correção)}$$

$$\bar{h}_f^{\circ} \text{CO}_2 = -393522 \text{ KJ/K mol}$$

$$\bar{\Delta}h^{\circ} \text{CO}_2 = 0$$

$$\bar{h}_f^{\circ} \text{H}_2\text{O} = -285830 \text{ KJ/K mol}$$

$$\bar{\Delta}h^{\circ} \text{H}_2\text{O} = 0$$

$$\bar{h}_f^{\circ} \text{N}_2 = 0$$

$$\bar{\Delta}h^{\circ} \text{N}_2 = 0$$

$$\bar{S}^{\circ} \text{CO}_2 = 213,794 \text{ KJ/K mol} \rightarrow 233,36 \text{ KJ/Kmol (correção)}$$

$$\bar{S}^{\circ} \text{H}_2\text{O} = 69,95 \text{ KJ/K mol} \rightarrow 83,75 \text{ KJ/Kmol}$$

$$\bar{S}^{\circ} \text{N}_2 = 191,609 \text{ KJ/K mol} \rightarrow 194,4 \text{ KJ/K mol (correção)}$$

Então:

$$\begin{aligned} \bar{E}^{\circ} \text{R} = & [(-74873 + 362,38 + 0 + 2x(291,84) + 0 + 7,52x(287,32)) - 298x(206,67) \\ & + 2x(219,8) + 7,52x(195,67))]_{35^{\circ}\text{C}} - [(-393522 + 0 + 2x(-285830) + 0 + 7,52 \\ & x(0) + 7,52x(0)) - 298x(233,36 + 2x(83,75) + 7,52x(194,4))]_{25^{\circ}\text{C}} \end{aligned}$$

$$\bar{E}^{\circ} \text{R} = 818373 \text{ KJ/1K mol CH}_4$$

Como:

Geração de metano é igual a 352,5 m<sup>3</sup>/h = 8460 m<sup>3</sup>/dia

1 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> equivale a 0,716 Kg

Então:

$$1 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ ----- } 0,714 \text{ Kg}$$

$$8460 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ ----- } m_{\text{CH}_4}$$

$$m_{CH_4} = 6057,35 \text{ Kg/dia}$$

Para:

$$\dot{n} = m_{CH_4}/M_{CH_4}$$

$$\dot{n} = 6057,35/16 = 378,58 \text{ Kg/mol}$$

Logo:

$$\dot{E}_{CH_4} = \dot{n}_{CH_4} \times \bar{E}_R$$

$$\dot{E}_{CH_4} = 3 \times 10^8 \text{ kJ/dia} = 3,5 \text{ MW}$$

A capacidade de realizar trabalho do metano é de 3,5 MW, continuamente.

#### 8.4 Custo do projeto

- Custos principais

Item	Custo unitário (R\$)	Quantidade	Custo (R\$)
<b>Rolo Magnético</b>	32.600,00	2 unidades	65.200,00
<b>Triturador</b>	441.571,60	1 unidades	441.571,00
<b>Motor elétrico</b>	500,00	4 unidades	2.000,00
<b>Gasômetro</b>	18,70	2.552 m <sup>2</sup>	47.722,00
<b>Compressor de 2 CV</b>	2.100,00	1 unidade	2.100,00
<b>Tela de aço inox</b>	180,00	800 m <sup>2</sup>	144.000,00
<b>Moto-gerador</b>	280.000,00	2 unidades	560.000,00
<b>Estrutura em alvenaria</b>	133.000,00	1 unidade	133.000,00
<b>Estrutura metálica da escada</b>	10.000,00	4 unidades	40.000,00

	0		
<b>Bomba para esgoto</b>	600,00	1 unidade	600,00
<b>TOTAL</b>			1.436.194,00

Tabela 6 – Custo do Biodigestor Real.

- Custos de projeto

Trabalho dos Engenheiros projetistas:

São 40 horas/semana x 4 semanas/mês x 8 meses = 1.280 horas de trabalho

Salário mensal dos Engenheiros: R\$ 2.000,00 (R\$ 12,5/hora de trabalho)

Custo total de projeto:

$$2 \times (1.280 \times 12,5) = \text{R\$ } 32.000,00$$

- Custo com funcionários

Para que o processo de biodigestão seja eficiente, é preciso contratar os seguintes funcionários:

- ✖ 56 novos funcionários nas esteiras de triagem, alocados na parte inclinada da esteira, onde será feita uma estrutura metálica em forma de escada;
- ✖ 224 novos funcionários nas esteiras de triagem, devido ao acréscimo de dois turnos;
- ✖ 69 novos funcionários para separar e carregar o lixo já reciclado;
- ✖ 4 novos funcionários para operar as prenças;
- ✖ 24 novos funcionários para operar os Tanques de mistura, de biodigestão e de descarga, considerando todos os turnos;
- ✖ 8 técnicos para cuidar da manutenção dos Tanques e das máquinas presentes no processo, considerando todos os turnos;
- ✖ 1 engenheiro para orientar e cuidar de todo o processo;
- ✖ 5 novos funcionários para outros serviços.

Com essas contratações, serão mais 391 pessoas trabalhando na Usina de Lixo

de Vitória. Considerando um salário de R\$ 400,00 para os operadores dos Tanques e para os funcionários que participam do processo de triagem, mais o salário de R\$ 1.000,00 para os técnicos e R\$ 2.000,00 para o engenheiro, a Usina terá um gasto mensal de R\$ 162.800,00.

Logo, o custo Total para implantar o Biodigestor na Usina de Lixo de Vitória será:

$$\text{Custo total} = 1.436.194,00 + 32.000,00 + 162.800,00 = \text{R\$ 1.468.194,00}$$

- Destino dos recicláveis, do biofertilizante e do biogás

“Os produtos recicláveis podem valer cerca de R\$ 135,00/t, valor com o qual são remunerados os sucateiros e catadores. Entretanto, os custos que a reciclagem evita para a Prefeitura, devido à redução da coleta, do transporte e da disposição final do lixo, são de quase R\$ 50 por tonelada, diz Sabetai Calderoni” [6]

Das 250 t/dia de lixo que chega à Usina de Lixo de Vitória, temos que 30 % desse total é possível de ser reciclável. São 75 t/dia de material reciclado, isso nos dá 2.250 t/mês. Considerando o ganho de R\$ 135,00 por tonelada de lixo reciclado mais R\$ 50,00 por tonelada de lixo que a prefeitura deixa de recolher, devido à reciclagem, o lucro que a Usina pode vir a ter é de R\$ 416.250,00 /mês.

O preço do biofertilizante pode ser cotado em R\$ 150,00/t, tento como base o adubo químico superfosfatado, que vale R\$ 271,00/t no mercado atual). Para uma produção aproximada de 100 t/dia de biofertilizante, tem-se uma renda de R\$ 450.000,00 mensalmente.

A energia produzida pelo metano será usada para dar auto-suficiência energética à Usina de Lixo de Vitória, sendo que o excedido poderá ser vendido para a concessionária energética do estado, ou pode ser repassada para a comunidade ao redor da Usina.

Com o processo de biodigestão da mistura lixo orgânico mais esgoto urbano, a energia gerada é de 3,5 MW. Para comparar essa quantidade de energia, temos o exemplo da Turbina a gás localizada no topo do Alto-Forno da Companhia

Siderúrgica de Tubarão – CST, que gera 15 MW, através da transformação da energia cinética, pela passagem dos gases da queima, em energia mecânica e posteriormente em energia elétrica.

Fazendo uma comparação entre o custo do projeto e o lucro que a Usina pode vir a ter com a venda dos recicláveis, do biofertilizante e do biogás, fica claro que o projeto de implantação de um Biodigestor na Usina de Lixo de Vitória é viável.



Figura 30 – iluminação da cidade de Vitória.

OBS.: Observou-se que a reciclagem do lixo não vem sendo incentivada por nenhuma das nossas políticas públicas. A causa pode estar na falta de informação técnica, na pressão das demais questões que pesam sobre a agenda política e nas dificuldades de aparelhamento administrativo. A consequência é que o governo está deixando de estimular atividade de grande potencial para a promoção do desenvolvimento, em termos de geração de renda, emprego, equilíbrio ambiental e qualidade de vida da população como um todo. Impõe-se, nesse sentido, uma urgente necessidade de implantar uma instituição de Política Nacional de Resíduos Sólidos, articulada a políticas estaduais e municipais correspondentes.

Os fatores que tornam a reciclagem do lixo economicamente viável convergem, todos eles, para a proteção ambiental e a sustentabilidade do desenvolvimento, pois se referem à economia de energia, à economia de matérias-primas, à economia de água e à redução da poluição do subsolo, do solo, da água e do ar. Convergem também para a promoção de um desenvolvimento

economicamente sustentável e socialmente justo, pois envolvem ganhos econômicos para a sociedade como um todo.

## **9 DESCRIÇÃO DO BIODIGESTOR PILOTO**

Com a instalação de um Biodigestor Piloto, será possível analisar os valores estatísticos para uma mistura de lixo orgânico mais esgoto urbano. Essa análise servirá para determinar a quantidade de biogás e de nutrientes do biofertilizante, para esse tipo de mistura e de Biodigestor. Como o Biodigestor Piloto se apresenta com a mesma forma e com o mesmo tipo de mistura que o Biodigestor Real, todos os seus valores estatísticos poderão ser aplicados ao Biodigestor Real.

O projeto do Biodigestor Piloto tem a intenção de ser alocado na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), ao lado da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), localizado na área do Centro Tecnológico (CT) da UFES. Nesse local ele poderá tornar-se uma fonte de estudo e pesquisa para estudantes e professores da área de Engenharia Ambiental e/ou outras áreas.

O Biodigestor Piloto será abastecido diariamente com 0,5 m<sup>3</sup> lixo orgânico, que será selecionado pela própria Usina de Lixo de Vitória, depois de feita uma parceria com a mesma. O Piloto também será abastecido com 0,5 m<sup>3</sup> de esgoto, que vira da própria rede de esgoto da UFES.

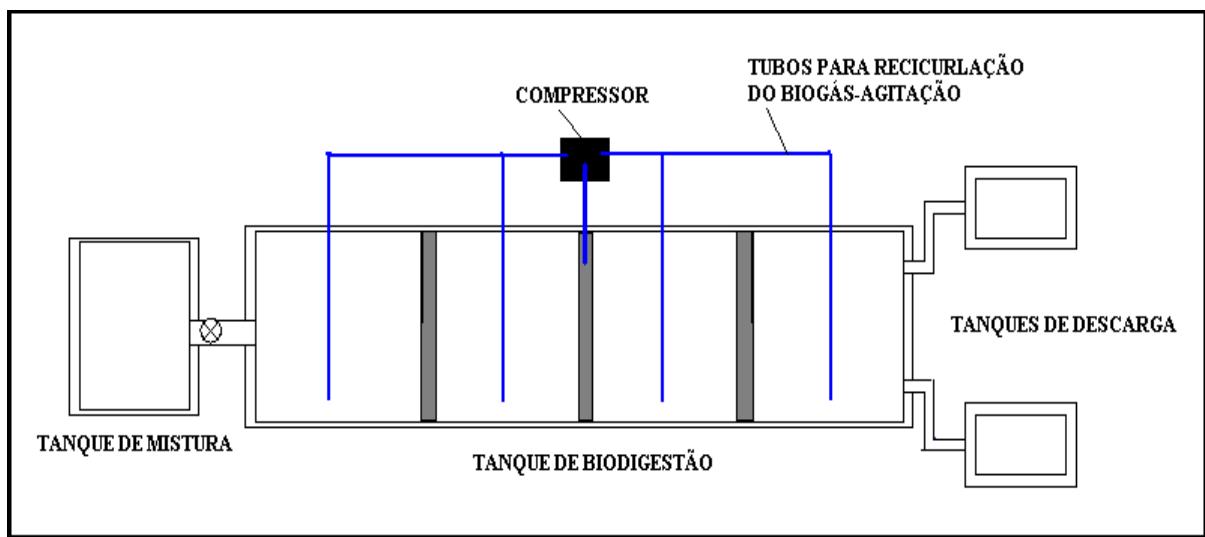


Figura 31 – desenho esquemático do Biodigestor Piloto.

## 9.1 Custo do Biodigestor Piloto

Item	Custo unitário (R\$)	Quantidade	Custo (R\$)
Gasômetro	18,70	51,75 m <sup>2</sup>	967,00
Compressor de gás de 0,5 CV	654,00	1 unidade	654,00
Tela de aço inox	180,00	5 m <sup>2</sup>	900,00
Motor de combustão interna 10 CV	1.855,00	1 unidade	1.855,00
Estrutura em alvenaria	15.000,00	1 unidade	15.000,00
Bomba para esgoto	600,00	1 unidade	600,00
<b>TOTAL</b>			<b>19.976,00</b>
			<b>0</b>

Tabela 7 – Custo do Biodigestor Piloto.

O custo total para a implantação do Biodigestor Piloto é de R\$ 19.976,00.

## 10 CONCLUSÃO

Como a energia é um elemento fundamental para garantir o desenvolvimento, é necessário buscar a sustentabilidade através de energias do tipo renováveis, sendo elas também economicamente viáveis e socialmente justas.

Como o Brasil é solar, é eólico e de biomassa, o País deve ter um papel de liderança mundial nesta revolução energética, gerando assim empregos para a população, movimentando a economia interna e, até mesmo, exportando equipamentos e tecnologias usadas na geração de energias limpas, renováveis e seguras.

Uma alternativa eficaz para iniciar o processo de mudança energética pode ser o domínio da tecnologia da digestão anaeróbica e da operação de Biodigestores que, na prática, não é complexa e nem difícil. A política do Biodigestor já foi implantada no Brasil, resta apenas conhecer melhor essa tecnologia, para que ela não venha a cair em descrédito como no passado. Uma vez adquiridos o conhecimento e o domínio dos problemas, Biodigestores mais sofisticados poderão ser construídos e operados sem dificuldades e com mão-de-obra já disponível no mercado. Nos últimos anos, têm-se afirmado amplamente que um dos principais entraves à disseminação da tecnologia do

Biodigestor no terceiro mundo é o custo de sua implantação, com isso, algumas pessoas estão sendo levadas a concluir que os esforços nessa área devem concentrar-se mais em projetos industriais e comunitários, ao invés dos individuais. A partir dessa conclusão é que foi idealizado o projeto de implantação de um Biodigestor na Usina de Lixo de Vitória. Esse projeto vem a apresentar uma solução parcial, podendo ser até total, dos problemas causados pelos Resíduos Urbanos de Vitória. Além disso, existirá a formação de novas fontes de emprego, reaquecendo a economia, e a adequação de Vitória aos programas de saneamento básico e preservação ambiental.

É possível desenvolver o País e afastar o problema do apagão, para que isso ocorra é necessário produzir a própria energia, e de forma social, econômica, consciente e ambientalmente correta. Como já dizia o pai da química moderna, Antoine Laurent Lavoisier: "Na natureza, nada se cria, nada se perde. Tudo se transforma!" Quanto mais conhecimento o homem adquire, maior deve ser a preocupação com o uso racional dos recursos ambientais, para o seu próprio bem e para que esses recursos sejam inesgotáveis.

## 11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MORIGAKI, Mitsue. "Indicadores de Recuperação de Material Reciclado na Unidade de Triagem de Vitória – ES, Dissertação de mestrado em Eng. Ambiental – Programa de Pós-Graduação em Eng. Ambiental, UFES, 2003.
- [2] CRAVEIRO, Américo Martins. Instituto de Pesquisa Tecnológica – SP. "Livro Produção de Biogás, tabela 4, pág 9".
- [3] Livro Biogás, pág. 18
- [4] VAN WYLEN, SONNTAG, BORGNAKKE. "Fundamentos da Termodinâmica –5<sup>a</sup> edição"
- [5] REID, Robert; POLING, Bruce. "The Properties of Gases and Líquidos – Cap. 6, pág. 157, tab. 6-2C e 6-2E – 4<sup>a</sup> edição"
- [6] CALDERONI, Sabetai. "Os Bilhões Perdidos no Lixo", Ed. Humanitas, 1997.
- SEIXAS, Jorge. "Construção e Funcionamento de Biodigestores", por Jorge Seixas, Sérgio Folle e Delomar Machetti. Brasília, EMBRAPA - DID, 1980. 60p. (EMBRAA - CPAC. Circular técnica, 4).

- Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC. “Manual para Construção E Operação de Biodigestores”.
- NOGUEIRA, Luiz A. Horta. “Biodigestão, A Alternativa Energética”.
- Schocken-Iturrino RP, Benincasa M, Lucas Jr J, Felis SD. Biodigestores contínuos: Isolamento de bactérias patogênicas no efluente. Engenharia Agrícola 1995; 15: 105-108.
- SILVA, F.M. Utilização do biogás como combustível. In: Energia, Automação e Instrumentação. XXVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Lavras: UFLA. Anexo. p 97, 1998.
- [www.energiasrenovaveis.com/html/canais/destaques/destaques1004.asp](http://www.energiasrenovaveis.com/html/canais/destaques/destaques1004.asp)
- [http://carlosmonteiro.planetaclix.pt/energias-renovaveis\\_biog\\_s.html](http://carlosmonteiro.planetaclix.pt/energias-renovaveis_biog_s.html)
- <http://www.mma.gov.br/ascom/ultimas/index.cfm?id=1028>
- [http://www.oia.org.br/cliping\\_tribuna\\_13\\_jan\\_2004.htm](http://www.oia.org.br/cliping_tribuna_13_jan_2004.htm)
- <http://planeta.terra.com.br/lazer/staruck/lixo.htm>
- <http://aneel.gov.br>; 2005

**12 ANEXOS**