



MANUAL DE TREINAMENTO EM BIODIGESTÃO



Versão 2.0
Fevereiro/2008

Organização:

- André de Paula Moniz Oliver (Instituto Winrock – Brasil)

Elaboração:

- André de Paula Moniz Oliver (Instituto Winrock – Brasil)
- Aurélio de Andrade Souza Neto (Instituto Winrock – Brasil)
- Danilo Gusmão de Quadros (Universidade do Estado da Bahia)
- Renata Everett Valladares (Instituto Winrock – Brasil)

Agradecimentos:

- Edivaldo Jesus de Oliveira
- Escola de Agricultura da Região de Irecê (ESAGRI)
- Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA)
- Grupo de Apoio e de Resistência Rural e Ambiental (GARRA)
- SANSUY

Financiamento:

- Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (USAID)

Este manual foi elaborado com o apoio da Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (USAID), através dos programas **Energia Produtiva**, **IRES (Market Development for Biodigestion in Brazil)** e **Energia Renovável & Desenvolvimento**.

As opiniões aqui expressadas são dos autores e não refletem necessariamente os pontos de vista da Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional.

Tabela de Abreviaturas

EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
GEE	Gases do Efeito-Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
NERG	Núcleo de Energia da UFPB
pH	Potencial de Hidrogênio
PV	Peso Vivo
PVC	Policloreto de Vinila
TRH	Tempo de Retenção Hidráulica
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
VB	Volume do Biodigestor
VC	Volume da Carga Diária

Índice

1.	Introdução	1
2.	Benefícios do biodigestor	2
3.	O que é um biodigestor?.....	3
4.	Histórico dos biodigestores no Brasil.....	4
5.	Manejo do solo: uso de biofertilizante.....	6
5.1	Solos e nutrição de plantas.....	6
5.2	Biofertilizante	6
6.	Energia renovável: o biogás	7
7.	Saneamento ambiental.....	9
8.	Dimensionamento e instalação de biodigestores.....	10
8.1	Dimensionamento do biodigestor	10
8.2	Procedimentos para instalação do biodigestor.....	13
8.3	Condução do biogás.....	14
8.4	Operação diária.....	14
8.5	Adaptação de equipamentos para o funcionamento a biogás.....	14
8.5.1	Adaptação dos queimadores superiores do fogão a gás.....	14
8.5.2	Adaptação do motor estacionário à gasolina de quatro tempos	15
9.	Medidas de segurança	17
10.	Referências.....	18

Lista de Figuras

Figura 1:	Benefícios do biodigestor	2
Figura 2:	Esquema do biodigestor em manta impermeável	4
Figura 3:	Modelos de biodigestores	5
Figura 4:	Aplicação do biofertilizante.....	7
Figura 5:	Massa de esterco, sem cama, expressa em toneladas (ton), produzida por ano por 450 kg de peso vivo (PV)	10
Figura 6:	Planta de topo da escavação e dimensionamento da manta.	11
Figura 7:	Dreno.....	13
Figura 8:	Manejo diário do biodigestor.....	14
Figura 9:	Adaptação de queimador para biogás.....	14
Figura 10:	Adaptação de motor estacionário a gasolina para biogás.....	15

Lista de Tabelas

Tabela 1:	Composição do biogás.....	8
Tabela 2:	Potencial de redução da contaminação através da biodigestão	9
Tabela 3:	Planilha de cálculo do volume de carga.....	11
Tabela 4:	Dimensionamento do biodigestor de acordo com o volume	11
Tabela 5:	Área total e preço da manta de laminado de PVC flexível.....	12
Tabela 6:	Potencial de produção de biogás a partir de dejetos animais	12
Tabela 7:	Cálculo da produção de biogás	12
Tabela 8:	Especificações técnicas para adaptação de motores	16

1. Introdução

A escassez de fontes energéticas para fins produtivos, cocção, resfriamento, aquecimento e iluminação é um grave problema enfrentado pelos produtores rurais. A lenha é a fonte de calor mais comum para uso na cozinha, mas é um recurso escasso e que deve ser preservado. O desmatamento agrava a seca, a perda de solo por erosão e coloca em perigo a flora e a fauna do ecossistema. Além disso, a queima de lenha para uso doméstico causa graves problemas de saúde, principalmente em mulheres e crianças, que ficam expostas diariamente à fumaça.

A aquisição de gás liquefeito de petróleo (GLP), ou gás de cozinha, representa um item de custo significativo no orçamento familiar. Já o uso de querosene para iluminação, além do alto custo, também polui o ar dentro de casa, enquanto as pilhas usadas para rádios e outros fins, têm alto custo e causam poluição do solo e da água quando são descartadas.

As principais fontes de energia¹ para consumo no segmento agropecuário do Brasil são:

- óleo diesel (58%);
- lenha (26%);
- energia elétrica (15%);
- outros (1%).

No triênio 2002-2004, dados oficiais disponíveis mostraram a elevação dos preços pagos pela energia, de 30 a 50%, dependendo da fonte energética. Os impactos da elevação do custo de energia fazem-se sentir com maior intensidade no setor rural de mais baixa renda, em geral, menos capitalizado e com menores condições de arcar com essa elevação de custos, tanto no que diz respeito ao consumo doméstico, quanto para as atividades de produção.

O manejo inadequado dos dejetos é um problema grave, freqüentemente atuando como vetor de doenças, contaminando a água e o solo. No Brasil, é freqüente a aplicação dos dejetos sem tratamento no campo. Essa prática pode acarretar:

- na queima das plantas;
- poluição ambiental;
- seqüestro de nitrogênio para decomposição da celulose (presente em grande quantidade no esterco), causando deficiência nas plantas;
- disseminar sementes de plantas daninhas;
- conter microrganismos patogênicos.

Entretanto, com o tratamento adequado, o esterco animal pode trazer importantes benefícios para o produtor. A biodigestão anaeróbia dos dejetos é uma tecnologia eficiente no aproveitamento de resíduos agropecuários que contribui no saneamento ambiental, produção de adubo para segurança alimentar e geração do biogás, usado como fonte energética. Com isso, aumenta a produção agrícola, permite a integração das atividades agropecuárias e a transformação dos produtos, agregando valor, organizando a produção, beneficiando a conservação dos produtos e melhorando a logística.

ESPERANCINI *et al.* (2007), ao avaliarem o fornecimento de energia elétrica e térmica a partir do biogás, para cinco domicílios e atividades produtivas da agrovila do Assentamento de Trabalhadores Rurais, no município de Itaberá, São Paulo, no ano de 2005, obtiveram benefícios anuais no valor de R\$ 3.698,00 e R\$ 9.080,57,

¹ Fonte: Balanço Energético Nacional (2005).

nos biodigestores para os domicílios e produção, respectivamente; bem como o equivalente a R\$ 1.478,28 por ano, referentes à produção de biofertilizante, sendo que o custo anual do processo foi de R\$ 1.218,50 em cada biodigestor e os prazos de recuperação do investimento de 2,5 anos e 11 meses, para a produção de biogás nos domicílios e na área de produção, respectivamente.

A comunidade científica mundial e a população têm discutido a mudança do modelo energético mundial, de energia fóssil e nuclear para sistemas que incluam as energias renováveis, alternativas e limpas. O debate internacional está pautado pela necessidade de práticas sustentáveis de aproveitamento dos recursos naturais existentes e de medidas para reduzir a taxa de aquecimento global.

2. Benefícios do biodigestor

A biodigestão anaeróbia (sem a presença de oxigênio) permite o aproveitamento do esterco animal para produção de biogás e biofertilizante, com benefícios no aumento de produtividade, preservação do meio ambiente e na saúde humana e animal (Figura 1).

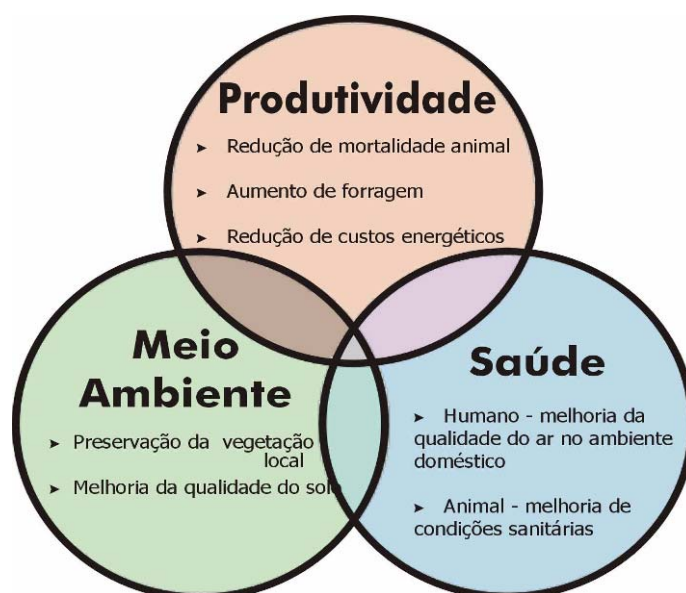


Figura 1: Benefícios do biodigestor

Entre os benefícios alcançados com a utilização do biodigestor, destacam-se:

- geração de biogás, energia renovável e limpa. Substituinte ao gás de cozinha, a queima do biogás não desprende fumaça e não deixa resíduos nas panelas, facilitando a vida da agricultora dona de casa. A sua utilização sistemática reduz os custos do gás, incluído o produto, transporte e armazenagem.

O biogás pode ser utilizado, por exemplo, em:

- o fogões;
 - o lãmpiões;
 - o geladeiras;
 - o campânulas;
 - o chocadeiras;
 - o secadores diversos;
 - o motores de combustão interna;
 - o conjuntos moto-bomba;
 - o geradores de energia elétrica.
- produção de biofertilizante: o biofertilizante, material oriundo do esterco de caprinos, ovinos, suínos, ou bovinos, após ser fermentado no biodigestor,

pode ser utilizado como adubo na produção de forragem para os animais e de alimentos para as pessoas, aumentando o rendimento agrícola.

O biofertilizante apresenta alta qualidade, devido:

- à redução do teor de carbono (C) do material. A matéria orgânica digerida libera o carbono na forma de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2);
 - ao aumento no teor de nitrogênio (N) e demais nutrientes, em consequência da liberação do carbono;
 - à diminuição da relação carbono/nitrogênio (C/N) da matéria orgânica, que melhora a utilização agrícola;
 - à maior facilidade da utilização do biofertilizante pelos microrganismos do solo, devido ao avançado grau de decomposição;
 - à solubilização parcial de alguns nutrientes, deixando-os mais facilmente disponíveis às plantas;
 - ao biofertilizante que também pode ser utilizado no controle pragas e doenças de culturas agrícolas.
- melhora das condições de higiene para os animais e as pessoas. A limpeza diária das instalações para recolher o esterco e seu tratamento adequado reduzem a contaminação do ambiente por microrganismos nocivos e parasitos e reduz também a proliferação de moscas e mortalidade dos animais, aumentando, conseqüentemente, a produção de leite e o ganho de peso, bem como a qualidade dos produtos.
 - benefícios ambientais:
 - redução da emissão de gases causadores do efeito estufa (GEE);
 - preservação da flora e fauna nativas. O biogás, como substituinte da lenha reduz a necessidade do corte de árvores;
 - redução de odores desagradáveis. Os odores provém principalmente dos estágios secundários da decomposição dos dejetos sob manejo inadequado.
 - benefícios sociais e econômicos:
 - o biogás gera economia de GLP, óleo diesel e lenha, além da redução na demanda da produção e distribuição de energia elétrica;
 - aumenta a produção e o tempo de conservação de alimentos;
 - beneficia as mulheres do campo, as quais se queixam da laboriosidade do corte de lenha, da limpeza das panelas e da cozinha, enegrecidas fortemente pela fuligem, além da dificuldade para acender o fogo, no período mais úmido.
 - tecnologia sustentável: permite o máximo aproveitamento dos recursos locais e integra as atividades rurais. A deposição de dejetos sem tratamento pode comprometer o meio ambiente (solo, plantas, cursos d'água, lençol freático e o homem).

3. O que é um biodigestor?

Biodigestor é uma câmara fechada onde é colocado material orgânico para decomposição. Pode ser um tanque revestido e coberto por manta impermeável de PVC, o qual, com exceção dos tubos de entrada e saída, é totalmente vedado, criando um ambiente anaeróbio (sem a presença de oxigênio).

Quanto à forma de abastecimento, os biodigestores são classificados em: batelada e contínuos. Os biodigestores em batelada recebem o carregamento de matéria

orgânica, que somente é substituído após o período adequado à digestão de todo o lote. Os biodigestores contínuos são construídos de tal forma que podem ser abastecidos diariamente, permitindo que a cada entrada de substrato orgânico a ser processado, exista saída de material já tratado.

O processo de biodigestão anaeróbia depende da ação de bactérias e ocorre em três fases: hidrólise ou redução do tamanho das moléculas; produção de ácidos orgânicos e produção de metano. O metano é o principal componente do biogás e não tem cheiro, cor, ou sabor, mas os outros gases presentes conferem-lhe ligeiro odor de ovo podre ou alho. O peso do metano é pouco mais que a metade do peso do ar. O poder calorífico do biogás é de 5.000 a 7.000 kcal/m³. Cada m³ de biogás é equivalente a: 0,55 L de óleo diesel, 0,45 L de gás de cozinha, ou 1,5 kg de lenha. Apesar de parecer complexo, este processo de fermentação ocorre naturalmente e continuamente dentro do biodigestor, desde que o sistema seja manejado corretamente.

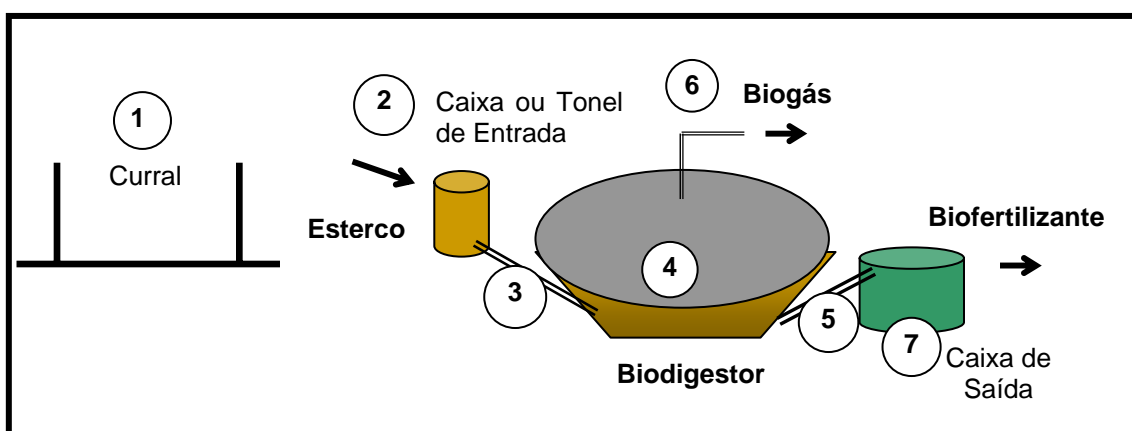


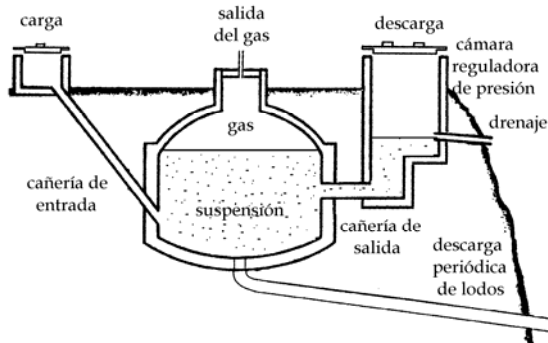
Figura 2: Esquema do biodigestor em manta impermeável

No aproveitamento dos dejetos utilizando biodigestores, devem ser observados os seguintes aspectos:

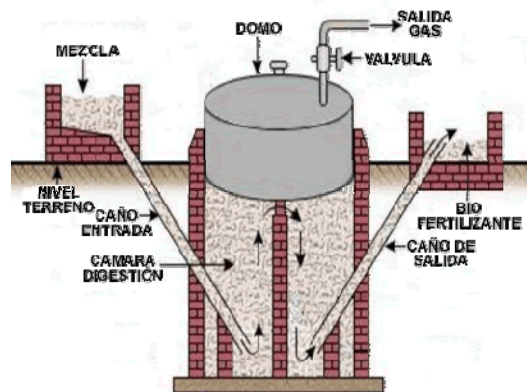
1. curral ou esterqueira com pavimentação para reduzir a quantidade de terra no biodigestor;
2. caixa ou tonel de entrada, onde o dejetos é misturado com água antes de ser colocado no biodigestor;
3. tubulação de entrada, permitindo a entrada da mistura no interior do biodigestor;
4. biodigestor: revestido e coberto por manta plástica;
5. tubulação de saída de biofertilizante, levando o material líquido já fermentado à caixa de saída;
6. tubulação de saída de biogás, canalizando-o para fogão, motor, etc.;
7. caixa de saída: onde é armazenado o biofertilizante até ser aplicado nos cultivos.

4. Histórico dos biodigestores no Brasil

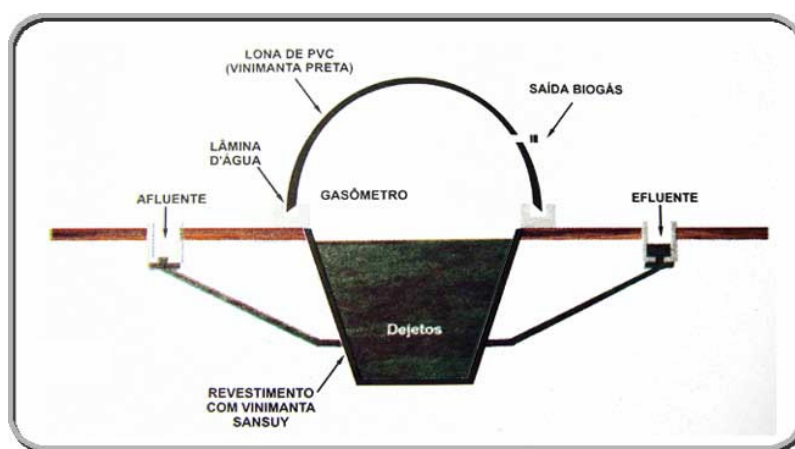
Com a crise do petróleo na década de 70, os biodigestores foram trazidos para o Brasil. Os principais modelos implantados foram o Chinês e o Indiano (Figura 3), quase que exclusivamente orientados para produção do biogás. Na região nordeste, foram implantados vários programas de difusão dos biodigestores e a expectativa era muito grande, mas os resultados não foram satisfatórios.



Modelo de biodigestor Chinês



Modelo de biodigestor Indiano



Modelo de biodigestor em manta de laminado de PVC

Figura 3: Modelos de biodigestores

Na Paraíba, por exemplo, na década de 80, a EMATER (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural) conseguiu, através de convênio com o Ministério de Minas e Energia, implantar de cerca de 200 biodigestores em propriedades rurais daquele estado. Segundo avaliação recente do NERG (Núcleo de Energia da UFPB), deste universo de biodigestores implantados, apenas 4,6% estão em funcionamento. Quase metade dos suinocultores da região sul afirmou que a baixa utilização de biodigestores se deve a falta de informação, enquanto o restante atribuiu ao custo elevado o maior limitante à replicação dessa tecnologia social.

Em retrospectiva, fica claro que a combinação de fatores técnicos, humanos e econômicos foi responsável pelo abandono das iniciativas de divulgação da tecnologia de biodigestão. Um dos motivos que dificultou a difusão dos biodigestores foi a falta de ênfase nos benefícios do biofertilizante, cujo valor na produtividade agropecuária é tão importante quanto as vantagens do biogás. Outro ponto foi quanto à adaptabilidade dos modelos implantados. No modelo Indiano – que foi o mais difundido – a campânula do biodigestor, quase na sua totalidade confeccionada em aço, aumenta muito o custo e oxida com bastante facilidade, exigindo manutenções constantes. Considerando o modelo chinês, os maiores problemas são de estanqueidade, pois, devido às características dos nossos solos e clima, ocorrem constantes rachaduras em sua cúpula, com conseqüente perda de gás. Faltam, ainda, esforços sistemáticos de difusão, capacitação dos usuários e assistência técnica aos produtores.

A preocupação com meio ambiente concomitantemente aos avanços na legislação ambiental, atenção à poluição de recursos hídricos e medidas mitigatórias dos efeitos das ações do homem sobre o clima global, tem despertado na população um interesse para produção de energias renováveis e biocombustíveis. Portanto, os biodigestores constituem-se em alternativa a ser implementada na agricultura sustentável.

Atualmente, o modelo de biodigestor mais difundido no Brasil é aquele feito de manta de PVC, de menor custo e fácil instalação, em relação aos modelos antigos e com a vantagem de poder ser usado tanto em pequenas, quanto grandes propriedades e projetos agro-industriais. O setor privado, contando com o apoio de universidades e entidades de pesquisa, tem sido o responsável no desenvolvimento do mercado desse tipo de biodigestor.

5. Manejo do solo: uso de biofertilizante

Solos e nutrição de plantas

O solo consiste de sólidos, de líquido e de uma mistura de gases, numa proporção de 50, 15 e 25% respectivamente. A fase sólida, constituída pelas frações mineral e orgânica do solo, é o reservatório de nutrientes para as plantas e regula a concentração dos elementos na solução do solo.

A matéria orgânica é o resultado de transformações sofridas por restos de plantas, animais e microrganismos, tendo a relação $C / N = 10/1$, $C / P = 100/1$ e $C / S = 100/1$. A matéria orgânica representa uma grande fonte de N para as plantas, aumentam a capacidade de troca de cátions, aumentam a quantidade de poros, tem papel na estrutura do solo e aumentam a capacidade de retenção de água.

A adequada nutrição das plantas melhora a produção e a qualidade dos produtos agrícolas que são fontes de alimentos. Os alimentos contêm macro e microelementos, proteínas e vitaminas essenciais à vida humana e outros componentes funcionais que previnem doenças.

Os elementos essenciais são divididos em dois grandes grupos, dependendo da quantidade exigida pelas plantas:

- macrominerais: N, P, K, Ca, Mg e S;
- microminerais: B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn e Co.

Na ausência do elemento essencial, a planta não completa seu ciclo de vida. Os sintomas de deficiência dos macronutrientes primários (N, P e K) apresentados pelas plantas são:

- N: folhas amareladas, redução no perfilhamento, senescência precoce e menor número de folhas verdes;
- P: cor amarelada nas folhas, menor perfilhamento, número reduzido de frutos e sementes, atraso no florescimento;
- K: amarelecimento da margem das folhas, crescimento não uniforme das folhas das plantas, murchamento e morte de gemas terminais, deformação dos tubérculos, pequena frutificação ou produção de frutos anormais, com pequena ou nula produção de sementes.

Biofertilizante

Após a digestão anaeróbica no interior do biodigestor, o material se transforma em biofertilizante, que apresenta alta qualidade para uso agrícola, com teores médios

de 1,5 a 2,0% de nitrogênio (N), 1,0 a 1,5% de fósforo (P) e 0,5 a 1,0% de potássio (K). Trata-se de um adubo orgânico, isento de agentes causadores de doenças e pragas às plantas e contribui de forma extraordinária no reestabelecimento do teor de húmus do solo, funcionando como melhorador de suas propriedades químicas, físicas e biológicas, que tem importante papel na sua estruturação e fixação de nitrogênio atmosférico.

O biofertilizante apresenta características peculiares que o torna interessante para uso agrícola:

- pH (potencial de hidrogênio) em torno de 7,5: o biofertilizante funciona como corretivo de acidez, liberando o fósforo e outros nutrientes para solução do solo. Além disso, o aumento do pH dificulta a multiplicação de fungos patogênicos às culturas;
- o biofertilizante tem grande aproveitamento na nutrição das plantas, pois apresentam os nutrientes em formas facilmente absorvíveis;
- melhora a estrutura do solo, deixando-o mais fácil de ser trabalhado e facilitando a penetração das raízes, alcançando camadas mais profundas, proporcionando maior tolerância das plantas a períodos secos;
- melhora a agregação das partículas do solo, resistindo mais à ação desagregadora da água, absorvendo-a mais rapidamente, evitando a erosão.
- a estrutura mais porosa do solo adubado com biofertilizante, permite maior penetração do ar, na zona explorada pelas raízes, facilitando sua respiração, obtendo melhores condições de desenvolvimento da planta.
- o biofertilizante também favorece multiplicação das bactérias, dando vida a solos já degradados;
- aumenta a produtividade das lavouras;
- se o biodigestor for operado corretamente, o biofertilizante está completamente estabilizado na caixa de saída, ou seja não tem mais o perigo de fermentar, logo não possui odor desagradável, não é poluente e não promove condições de proliferação de moscas e outros insetos.
- diminui o poder germinativo de sementes de plantas daninhas com a fermentação do material no biodigestor, não havendo perigo de disseminação nas lavouras;
- reduz a presença de coliformes fecais dos dejetos e elimina a presença e viabilidade dos ovos dos principais vermes que parasitam o rebanho.



Figura 4: Aplicação do biofertilizante

Na agricultura pode ser aplicado diretamente no solo em forma líquida ou seca. Para aplicação direta nas plantas, coloca-se um 1 litro de biofertilizante para cada 10 litros de água, passa-se a mistura por uma peneira fina e realiza-se a aplicação.

Os efeitos do biofertilizante no controle de pragas e doenças de plantas têm sido bem evidenciados. Efeitos fungistático, bacteriostático e repelente sobre insetos já foram constatados.

6. Energia renovável: o biogás

O biogás é uma combinação de metano, gás carbônico e outros constituintes produzidos pela digestão anaeróbica de hidrocarbonetos. Foi durante a revolução industrial, que começou em meados do século XVIII, que foi descoberto o poder e a versatilidade dos combustíveis fósseis. A partir daquele período, o carvão, e logo

depois os combustíveis derivados do petróleo (diesel, gasolina, GLP, querosene) passaram a ocupar o primeiro lugar como fonte de energia. Hoje, 90% da energia consumida no mundo é de origem fóssil.

Os combustíveis fósseis são fontes de energia não-renováveis, ou seja, uma vez esgotados, não tem volta. Além disso, o carvão e o petróleo são altamente poluidores, geram chuva ácida, contaminam o ar, o solo, o mar, os rios e as águas subterrâneas durante o processo de extração e como consequência dos frequentes vazamentos, e produzem os “gases de efeito estufa” que contribuem para o aquecimento global. Politicamente, há guerras e conflitos internacionais causadas na briga pelo controle das fontes de petróleo.

Por todas essas razões, é imprescindível para a sustentabilidade do ser humano e do nosso planeta ampliar o uso das energias renováveis, tais como energia solar, eólica, hidráulica e biomassa. As energias renováveis são provenientes de ciclos naturais de conversão da radiação solar, que é a fonte primária de quase toda energia disponível na terra. Por isso, são praticamente inesgotáveis e não alteram o balanço térmico do planeta. No caso da biodigestão, temos a produção de biogás, um combustível renovável, produzido a partir dos resíduos agropecuários, que são um tipo de biomassa.

O biogás é um gás subproduto da fermentação anaeróbia da matéria orgânica. Esse gás é combustível renovável e de queima limpa, composto principalmente de metano. Ele é usado como combustível, constituindo-se em uma fonte alternativa de energia. O seu poder calorífico é de 5.000 a 7.000 kcal/m³. Em relação a outras fontes de energia, 1 m³ de biogás equivale a:

- 0,61 litro de gasolina;
- 0,58 litro de querosene;
- 0,55 litro óleo diesel;
- 0,45 litro gás de cozinha;
- 1,50 quilo de lenha;
- 0,79 litro de álcool hidratado.

O biogás, ao contrário do álcool da cana-de-açúcar e de óleos extraídos de outras culturas, não compete com a produção de alimentos em busca de terras disponíveis. Afinal, ele pode ser inteiramente obtido de resíduos agrícolas, ou mesmo de excrementos de animais e das pessoas. Assim, ao contrário de ser fator de poluição, transforma-se em auxiliar do saneamento ambiental. Os excrementos dos animais constituem-se no substrato mais indicado, pelo fato de já saírem dos seus intestinos carregados de bactérias anaeróbicas.

A composição do biogás varia de acordo com a natureza da matéria-prima fermentada e ao longo do processo de fermentação, mas proporcionalmente apresenta maiores proporções de metano e gás carbônico (Tabela 1).

Tabela 1: Composição do biogás²

Gases	%
Metano (CH ₄)	50 a 70
Dióxido de carbono (CO ₂)	30 a 40
Nitrogênio (N ₂)	0 a 10
Hidrogênio (H ₂)	0 a 5
Oxigênio (O ₂)	0 a 1
Gás sulfídrico (H ₂ S)	0 a 1
Vapor d'água	0,3

² Fonte: Adaptado de WALSH JR. et al. (1988) e BRETON et al. (1994)

7. Saneamento ambiental

A carga de microrganismos presentes no esterco é um fator que deve ser considerado na escolha dos procedimentos de manejo, visto a possibilidade de transmissão de doenças entre animais do rebanho, animais de outras espécies e até às pessoas (zoonoses).

O manejo inadequado dos dejetos produzidos na agropecuária pode causar danos à população e ao meio ambiente, como por exemplo, os níveis de nitrato na água e a contaminação do meio com *Escherichia coli* e *Cryptosporium*. A reciclagem de nutrientes do esterco dentro da propriedade tem em vista não somente o controle da poluição ambiental, mas também a redução de custos com a menor importação de nutrientes, seja através da compra de fertilizantes, ou de alimentos.

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

A contaminação dos lagos, açudes e rios pelos dejetos, a infiltração de água contaminada no lençol freático e o desenvolvimento de moscas são exemplos de poluição ambiental provocada pelo manejo inadequado dos excrementos. Normalmente, os criadores costumam concentrar seus animais em instalações durante a noite, nas quais permanecem até 50% do tempo de sua vida. Em sistemas intensivos de criação, o acúmulo dos dejetos pode comprometer a viabilidade ambiental, econômica e social do empreendimento. Nesse contexto, gases nocivos podem provocar danos à comunidade, através da emissão de odores desagradáveis e problemas de saúde às pessoas e aos animais.

O acúmulo de dejetos pode criar um ambiente propício para proliferação de vetores transmissores de doenças. Do ponto de vista sanitário, os dípteros são considerados os insetos mais importantes. As moscas domésticas (*Musca domestica*) e varejeiras (*Chrysomya spp.*) são vetores da febre tifóide, disenteria, poliomielite, entre outras doenças. As moscas domésticas podem transmitir agentes patogênicos como vírus, rickettsias, protozoários, bactérias e helmintos, seja como hospedeiro intermediário ou transportadores mecânicos. A mastite também pode ser transmitida pelas moscas, causando queda na produção e qualidade do leite.

Os altos níveis de bactérias do grupo coliformes na água de consumo podem sujeitar a propriedade a maiores taxas de incidência de doenças nos animais, com conseqüente aumento da mortalidade, diminuição da produtividade e da qualidade dos produtos.

Com a passagem do conteúdo pelo biodigestor, da caixa de entrada para caixa de saída, ocorre diminuição do efeito poluente do material, redução dos coliformes totais e fecais, além eliminação de ovos e viabilidade das larvas infectantes de endoparasitos (Tabela 2).

Tabela 2: Potencial de redução da contaminação através da biodigestão³

Organismos	Temperatura (°C)	Tempo de digestão (Dias)	Destruídos (%)
Poliovirus	35	2	98,5
<i>Salmonella spp.</i>	2 a 37	6 a 20	82-98
<i>Salmonella typhosa</i>	22 a 37	6	99
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	30		100
<i>Ascaris</i>	29	15	90
Cistos de parasitos	30	10	100

³ Fonte: National Academy of Science, 1977, citado por MASSOTTI (2002)

8. Dimensionamento e instalação de biodigestores

Dimensionamento do biodigestor

Alguns parâmetros devem ser considerados na localização de um biodigestor:

- Condições locais do solo;
- Facilidades na obtenção, preparo e armazenamento da biomassa;
- Facilidades na remoção e utilização do biofertilizante;
- Distância de utilização do biogás.

A facilidade de acesso é importante na escolha do local de implantação do biodigestor, porém o equipamento deve ser protegido de animais e as crianças devem ser educadas a conservá-lo, evitando danos. Deve-se evitar instalar o biodigestor embaixo e ao lado de árvores, pois as raízes podem perfurar a manta.

Em biodigestores contínuos modelo canadense, ou da marinha, constituídos tanque e gasômetro basicamente por manta em laminado de PVC (policloreto de vinila) flexível, o biogás terá pouca pressão e poderá ser conduzido até, no máximo, 50 metros. Contudo, para maior segurança, mantenha distância mínima de 10 metros entre o biodigestor e quaisquer edificações.

Existem vários modelos de biodigestores. Os mais simples possuem um único estágio, alimentação contínua e sem agitação. O tempo de retenção dos dejetos depende da capacidade das bactérias em degradar a matéria orgânica.

Um método prático de estimar o tamanho do biodigestor é calculando será calculado pelo produto da carga diária e do tempo de retenção, conforme a fórmula:

$$VB = VC \times TRH$$

- VB = Volume do biodigestor (m³);
- VC = Volume da carga diária (dejetos + água) (m³/dia);
- TRH = Tempo de retenção hidráulica (dias).

Os animais produzem considerável quantidade de esterco. Uma vaca leiteira com 450 kg de peso vivo (PV), por exemplo, produz anualmente 12 toneladas. Esse mesmo PV constituído de suínos e ovinos, resultaria em 16 e 6 toneladas/ano, respectivamente (Figura 5).

Para calcular o volume da carga diária, é necessário conhecer a média da massa de dejetos produzida e somar a quantidade de água, observando a relação esterco/água (Tabela 3).

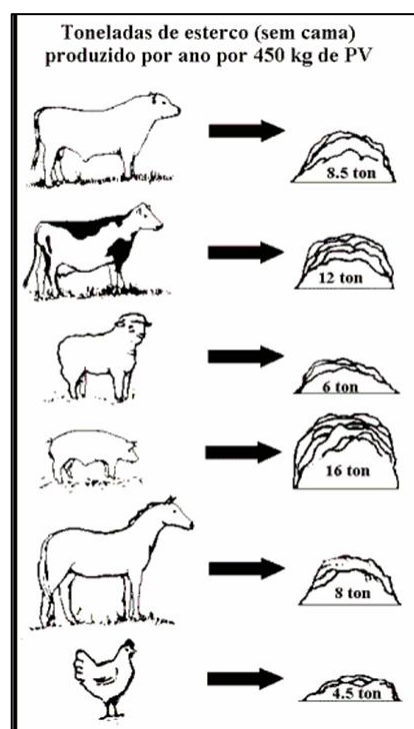


Figura 5: Massa de esterco, sem cama, expressa em toneladas (ton), produzida por ano por 450 kg de peso vivo⁴

⁴ Fonte: Ensminger (1990) citado por LUCAS JÚNIOR (2005).

Tabela 3: Planilha de cálculo do volume de carga

Espécie animal	Estercor por animal (kg)	Quantidade de animais	Total de estercor (kg)	Relação estercor:água	Volume de água (m ³) ⁵	Volume da carga (m ³)
	A	B	C = A x B	D	E = C x D	F = C + E
Caprino/ovino ⁶	0,5			1:4 a 5		
Vaca	7			1:1		
Vaca leiteira ⁷	25			1:1		
Bezerro ⁶	2			1:1		
Boi ⁷	15			1:1		
Suíno ⁷	4			1:1,3		
Total						

Considerando os dejetos da caprino-ovinocultura, o tempo de retenção hidráulica é de 45 dias. Entretanto, para bovinos e suínos é de 35 dias e cama-de-aviário, 60 dias.

A caixa de entrada poderá ser um tonel plástico, ou tanque de alvenaria, dependendo do volume da carga diária. Todavia, não é recomendando a utilização de tonéis de metal, pois enferrujam rapidamente. A caixa de saída deve ser dimensionada com no mínimo três vezes o volume da carga diária para permitir armazenamento do biofertilizante.

A escavação é realizada conforme os cálculos do dimensionamento abaixo (Figura 6). Não é necessário revestimento em alvenaria, mas pode ser utilizado objetivando a perfeita colocação e manutenção da manta.

As medidas de escavação para alguns volumes de biodigestor estão dispostas na Tabela 4.

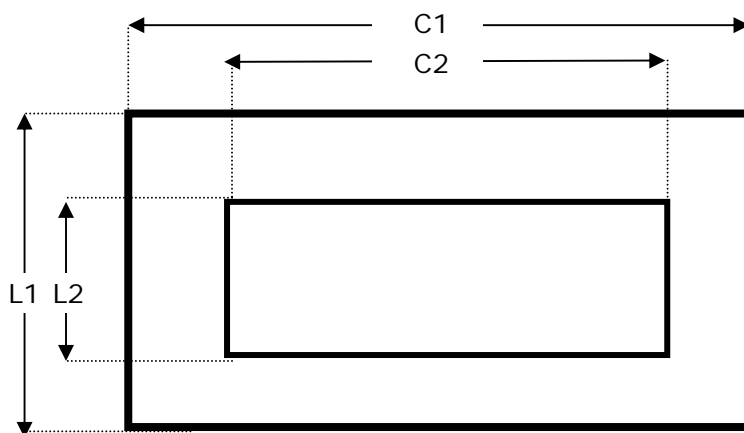


Figura 6: Planta de topo da escavação e dimensionamento da manta.

Tabela 4: Dimensionamento do biodigestor de acordo com o volume

Volume (m ³)	Profundidade (m)	Comprimento maior C1 (m)	Largura maior L1 (m)	Comprimento menor C2 (m)	Largura menor L2 (m)
3	1,0	3,5	1,2	3,0	0,7
7	1,0	6,0	2,0	4,8	0,8
15	1,4	7,0	2,5	5,5	1,0
20	1,5	8,0	3,0	6,0	1,0
30	1,5	10,0	3,5	8,0	1,5

⁵ 1 m³ de água = 1000 litros.

⁶ Preso à noite.

⁷ Confinado.

Relação de Material para construção de um biodigestor

- Tonel de plástico (volume igual ao VC)
- Manta plástica de revestimento PVC flexível 0,8 mm
- Manta plástica de cobertura PVC flexível 1,0 mm
- Tubulação PVC 150 mm para esgoto (branca) para entrada de dejetos e saída de biofertilizante
- Tubulação e conexões PVC 40 mm para água (marrom) para condução do biogás
- Caixa de alvenaria ou fibra para armazenamento do biofertilizante

Proporcionalmente, o maior custo do biodigestor é representado pela aquisição da manta, de 1 mm de espessura, para revestimento do tanque e gasômetro. Seu preço depende da área total, conforme Tabela 5.

Tabela 5: Área total e preço da manta de laminado de PVC flexível

Volume (m ³)	Área total (m ²)	Preço (R\$) ⁸
3	43	712,00
7	68	1.127,00
15	99	1.640,00
20	127	2.104,00
30	161	2.666,00

A produção de biogás depende do tipo de substrato, sendo que o esterco animal conta com grande população de bactérias nos dejetos, favorecendo a fermentação. As espécies animais diferem quanto à estimativa da produção diária de biogás, em relação à massa de esterco (Tabela 6). Todavia, ela é influenciada também por outros fatores, como a época do ano e o tipo de alimento fornecido.

Tabela 6: Potencial de produção de biogás a partir de dejetos animais⁹

Espécie	m ³ de biogás/kg esterco	m ³ de biogás/100 kg esterco
Caprino/ovino	0,040-0,061	4,0-6,1
Bovinos de leite	0,040-0,049	4,0-4,9
Bovinos de corte	0,040	4,0
Suínos	0,075-0,089	7,5-8,9
Frangos de corte	0,090	9,0
Poedeiras	0,100	10,0
Codornas	0,049	4,9

A estimativa da produção de biogás pode ser obtida utilizando a planilha de cálculos disposta na Tabela 7. Com base nesses dados, são necessários 33 caprinos/ovinos, ou 3 bovinos adultos, presos à noite, para produção de 1m³ de biogás/dia. Quantidade equivalente de biogás seria produzida por 3 suínos confinados.

Tabela 7: Cálculo da produção de biogás

Linha	Item	Operação	Unidade	Valor
1	Total de esterco/dia	Valor obtido na Tabela 3 C	kg	
2	Total de biogás/dia	Valor da linha 1 multiplicado pelo dado da Tabela 6	m ³ /dia	
3	Total de biogás/mês	Valor da linha 2 multiplicado por 30	m ³ /mês	
4	Equivalência em botijão de 13 kg de GLP	Dividir o valor da linha 3 por 33 (33m ³ biogás = 1 botijão de GLP)	botijão/mês	
5	Equivalente em energia elétrica (kWh)	Multiplicar o valor da linha 3 por 5,5 (1 m ³ biogás = 5,5 kWh)	kWh/mês	

⁸ SANSUY (janeiro/2008).

⁹ Fonte: LUCAS JÚNIOR (2005) e QUADROS et al. (2007).

Junto ao biogás sempre existe vapor d'água, que por condensação se deposita nos pontos mais baixos e, com o tempo, impedem a passagem do biogás. A tubulação que conduz o biogás deve ter pontos mais baixos com dreno, que funciona como válvula de segurança. O dreno pode ser feito com conexão "T" do fundo da qual sai um pedaço de tubo, ou mangueira, que deve ser mergulhado em água dentro de, por exemplo, uma garrafa, ou caixa de concreto, mais fundo que a pressão do biogás. Quando o gás borbulhar dentro do dreno, indica que o gasômetro está cheio e o biogás deve ser utilizado para aliviar a pressão na manta.



Figura 7: Dreno

Quantos animais são necessários para produzir 1m³ de biogás por dia?

3 vacas – presas à noite
 33 caprinos ou ovinos – presos à noite
 3 suínos confinados

Procedimentos para instalação do biodigestor

1. Escavar um buraco no solo, com as medidas definidas no projeto de dimensionamento;
2. Escavar um buraco menor, na saída do biodigestor, para acomodar o tonel ou caixa de saída de biofertilizante;
3. Abrir a manta plástica de PVC sobre o buraco;
4. Colocar tubos e colar mangas da manta no biodigestor;
5. Fixar o perímetro da manta plástica, enterrando-o, ou com um selo d'água;
6. Instalar tubulação de biogás;
7. Iniciar carga.

Atenção: Risco de Explosão

O biodigestor só apresenta risco de explosão quando o biogás está misturado com oxigênio no seu interior. Esta situação acontece no início da operação. Por isso, é de fundamental importância que a produção inicial de biogás seja liberada, e não queimada.

Prossiga da seguinte forma: mantenha o registro de saída do biogás fechado durante a operação inicial. Uma vez que a manta esteja inflada, abra o registro de gás e libere todo o conteúdo (que é uma mistura de biogás e ar), fechando o registro em seguida. Mantenha o registro fechado até que o biodigestor infle novamente. A partir desse momento, o biogás poderá ser usado em segurança, e desde que o biodigestor continue em operação, não entrará mais ar no seu interior.

Observação: Como o biogás está sob pressão, mesmo que haja pequenos vazamentos na manta, o ar não entrará no biodigestor. De qualquer forma, é importante ficar atento a vazamentos e consertá-los assim que detectados.

Condução do biogás

Para conduzir o gás na linha principal, usa-se tubo plástico flexível de parede grossa (mangueira preta) ou rígido PVC colável (marrom-para água), com o seguinte diâmetro:

- a) 1" quando usamos o biodigestor para motor.
- b) 3/4 " quando usamos o biodigestor para outros equipamentos.

Não improvise a tubulação de gás porque é perigoso por ser explosivo. Todas as emendas rígidas devem ser feitas com selante (cola ou fita branca) ou quando flexível, com braçadeiras. Faça o teste de vazamento banhando todas as junções com água e sabão.

Operação diária



Figura 8: Manejo diário do biodigestor

1. Manter os animais presos no curral durante uma parte do dia ou à noite;
2. Coletar esterco pela manhã e depositar na caixa de entrada;
3. Adicionar água na proporção correta, de acordo com a Tabela 3 acima;
4. Misturar e liberar para o biodigestor;
5. Retirar e aplicar o biofertilizante nas hortas;
6. Utilizar o biogás para cozinhar, para ligar motores, etc.

Adaptação de equipamentos para o funcionamento a biogás

A seguir apresentamos algumas possíveis adaptações de equipamentos para funcionamento a biogás.

Adaptação dos queimadores superiores do fogão a gás

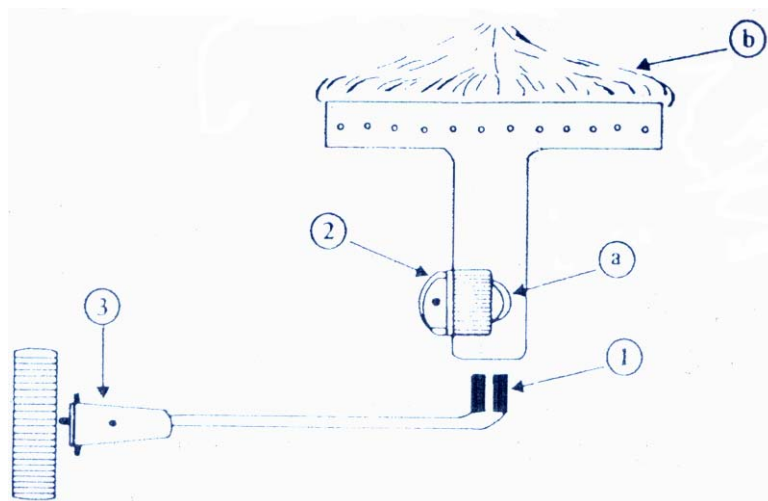


Figura 9: Adaptação de queimador para biogás

1. Abrir o giclê (injetor de gás) a partir de 1 e 1/2mm;
2. Fechar aos poucos a entrada de ar, até que a chama funcione bem;
3. Demonstrar o botão do fogão e abrir para 1 mm o furinho do fogo baixo (furo menor).

Observações:

- a) Sempre deixar entrar um pouco de ar primário até conseguir uma chama azulada. A correta admissão do ar primário aumenta em muito a eficácia da chama.
- b) A chama deverá ficar em forma de “chama de vela” e apresentar um chiado característico. Isto se consegue regulando (abrindo ou fechando) a entrada de ar e alargando aos poucos o giclê.
- c) O melhor é fechar a entrada de ar, embutindo um pedaço de mangueira plástica flexível do tipo cristal ou preta, no local de entrada do ar.
- d) Fazer a entrada do ar primário com 2 furos opostos de 2 mm com prego quente.
 - Em certos tipos de fogões, ao se abrir o giclê (injetor de gás) acontece da chama não ficar “consistente”, ou seja, fica balançando e apaga com facilidade.
 - Nesse caso coloca-se dentro e no terço superior do caminho, uma tampinha metálica de garrafa com 6 furos pequenos, ou uma moeda com recortes na borda.
 - O fluxo do biogás é melhor distribuído e o fogão funciona melhor, pois a chama é bem distribuída.

ATENÇÃO

- Não pode haver nenhum cheiro de biogás. Se houver, o fogão está mal adaptado.
- Num fogão mal adaptado, a eficiência da chama chega no máximo até 400°C, enquanto que no bem adaptado chega até 800°C.

Adaptação do motor estacionário à gasolina de quatro tempos

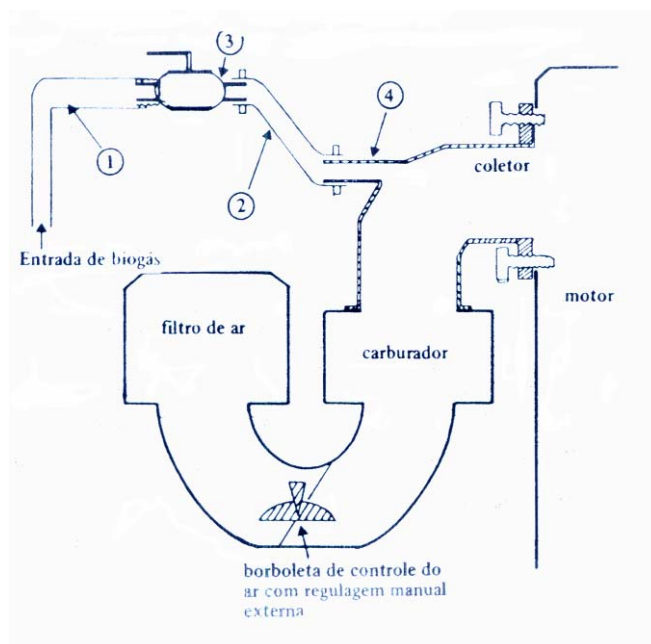


Figura 10: Adaptação de motor estacionário a gasolina para biogás

Tabela 8: Especificações técnicas para adaptação de motores

Especificação	Diâmetro (polegadas)		
	Motor até 3 cv	Motor de 3 a 8 cv	Motor de 8 a 12 cv
Tubulação Plástica	1/2"	3/4"	1"
Tubulação Plástica Flexível (1/2 metro)	3/8"	1/2"	3/4"
Registro Globo de Plástico	3/8"	1/2"	3/4"
Tubo de Admissão de ferro soldado no coletor	3/8"	1/2"	3/4"

Adaptações:

- Retira-se o conjunto do carburador e filtro de ar no bloco do motor, e em uma oficina se faz as adaptações;
- Fazer um furo no coletor na parte superior e soldar um tubo de admissão de ferro de 10 cm de comprimento;
- Regulagem da borboleta de controle de ar: retirar a mola;
- Fazer com que a regulagem manual externa fique bem apertada para evitar que a trepidação desregule a relação biogás e ar;
- Para que a trepidação do motor não desregule o registro do globo para o biogás, é necessário se colocar meio metro de mangueira entre o tubo de admissão e o registro.






Funcionamento:

- Dá-se a partida com gasolina. Fecha-se a torneira de gasolina. Quando o motor começar a falhar, abre-se o biogás e fecha-se a borboleta.
- Procura-se, então, a melhor regulagem do ar; Também é possível se dar à partida com gás de cozinha (GLP), trocando em seguida para o biogás;
- Para voltar a trabalhar somente com gasolina, retirar a mangueira e colocar um tampão no tubo de admissão.

Observações:

- É importante que o motor esteja funcionando bem com gasolina, antes de se iniciar a adaptação para biogás;
- A bobina e a vela devem estar boas. De preferência, compre uma vela nova;
- Verifique o nível de óleo todos os dias.

9. Medidas de segurança

	<p>Lembre-se das crianças e dos animais. Mantenha o biodigestor e o depósito de biofertilizantes isolados. Uma boa cerca e uma boa limpeza em volta evitam muitos incômodos.</p>
	<p>Uma vez por mês, verifique o estado geral das instalações de biogás em inspeção visual. Observe especialmente as juntas e emendas para verificar se está ocorrendo algum vazamento, pincelando com água e sabão. Não improvise: use braçadeiras e conexões adequadas. Instale corretamente os drenos da água.</p>
	<p>Cuidado com os ratos. Tubos plásticos do tipo mangueira, em forros e porões, favorecem a presença de roedores.</p>
	<p>Cuidados com acidentes e explosões. Evite que o gás se misture com o ar dentro da campânula e na linha de condução de gás.</p>
	<p>Providencie ventilação adequada em torno da linha de gás dentro da casa. No entanto, os aparelhos queimadores devem ser localizados protegidos de corrente de ar.</p>
	<p>Não fume e não acenda fósforos perto do biodigestor.</p>

10. Referências

- AMORIM, A.C. **Avaliação do potencial de impacto ambiental e do uso da compostagem e biodigestão anaeróbia na produção de caprinos**. 2005. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista (Tese – Doutorado em Zootecnia). Jaboticabal. 2005. 107p.
- BRETON, J. *et al.* **Renewable energy sources and technologies on farm systems: focusing on Danish scenario**. The Royal Veterinary and Agricultural University, Denmark: Department of Agricultural Sciences, 2004. 126p.
- COMASTRI FILHO, J.A. **Biogás: independência energética do pantanal mato-grossense**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Pantanal. Corumbá: EMBRAPA. Circular técnica, n.9. 1981. 53p.
- ESPERANCINI, M.S.T. *et al.* viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.1, p.110-118, 2007.
- LUCAS JÚNIOR, J. Laminados de PVC – solução para biodigestores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO PVC, São Paulo, 2005. **Anais...** São Paulo: São Paulo. 2005. disponível em: <<<http://www.institutodopvc.org/congresso/>>>. Acesso em: 05-02-07.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres 1980. 251.
- MASSOTTI, Z.M. Viabilidade técnica e econômica do biogás a nível de propriedade. In: CELANT, T.M.B. et al. (Eds.) **Curso de capacitação em práticas ambientais sustentáveis: treinamentos 2002**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves - Programa Nacional do Meio Ambiente II. 2002. p 102-108.
- MEDEIROS, M.B.; LOPES, J.S. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. **Bahia Agrícola**, v.7, n.3, p.24-26, 2006.
- OLIVEIRA, R.A. **Efeito da concentração de sólidos suspensos do afluyente no desempenho e características do lodo de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo tratando águas residuárias de suinocultura**. 1997. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997. 359p.
- PELL, A. Manure and microbes: public and animal health problem? **Journal Dairy Science**, v.80, n.10, p.2673-2681, 1997.
- POLPRASERT, C. **Organic waste recycling**. Chichester: John Willey & Sons Inc. 1989.
- QUADROS, D.G. *et al.* Biodigestão anaeróbica de dejetos da caprino-ovinocultura para produção de biogás e biofertilizante no semi-arido: 1. produção e composição de biogás. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE AGROENERGIA E BIOCOMBUSTÍVEIS, Teresina. **Anais...** EMBRAPA Meio Norte: Teresina. 2007a. (CD-ROM)
- ROSTON, D.M. Manejo e disposição de resíduos gerados pela bovinocultura leiteira. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, 2001. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ. 2001. p. 383-394.
- SIMAS, J.M., NUSSIO, C.M.B. Reciclagem de nutrientes do esterco tendo em vista o controle da poluição do meio ambiente. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, 2001. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ. 2001. p. 383-394.
- TURDERA, M.V., YURA, D. **Estudo da viabilidade de um biodigestor no município de Dourados**. Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS. Disponível em: <<www.uems.br/gaslab/doc/pdf/Campinasagrener.pdf>> Acesso em: 19-03-2007.
- WALSH JR., J.L. et al. **Handbook on biogas utilization**. U.S. Department of energy. 1998. 156p.



Av. Paulo VI, 486 / sala 204 Pituba,
Salvador-Bahia, CEP 41810-001

Tel.: (71) 3248-0701

E-mail: mail@winrock.org.br

Website: www.winrock.org.br