

DIGESTÃO MICROBIANA DE MATÉRIA ORGÂNICA, PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE.

MARIA CELIA DE OLIVEIRA HAULY*
ANTONIO SÉRGIO DE OLIVEIRA*
IRENE POPPER**

RESUMO

A produção de gás metano, uma das alternativas de utilização de biomassa, é particularmente interessante por ser obtida a partir de resíduos vegetais e animais, normalmente considerados dejetos de pequeno aproveitamento ou eventualmete até contaminantes e poluentes. Além de obtenção de energia de fácil implementação e aproveitamento em áreas rurais, obtém-se pela fermentação anaeróbica dos resíduos orgânicos, um subproduto, o biofertilizante, de excelente aproveitamento na lavoura. O processo de biodigestão, o emprego das matéria orgânicas e características do biogás e biofertilizante são descritos no presente trabalho.

1 – INTRODUÇÃO

Com o progressivo agravamento da crise de petróleo, a necessidade do desenvolvimento de fontes de energia alternativa aumenta rapidamente. Sendo o Brasil, entre os países em desenvolvimento, um dos maiores importadores de petróleo para suprir as suas necessidades energéticas cotidianas, existe um grande interesse em desenvolver alternativas energéticas a partir de recursos locais. Os recursos disponíveis no Brasil e que têm grandes possibilidades de desenvolvimento e viabilidade são: hidroelétricas, biomassa, energia solar, e energia eólica. Desses recursos disponíveis, as hidroelétricas são as mais desenvolvidas. A biomassa sob forma de álcool combustível também já se encontra em desenvolvimento bastante avançado. Existem porém diversas outras formas de aproveitamento de biomassa, dentre elas, a transformação em gás metano, obtendo-se concomitantemente em fertilizante orgânico enriquecido, o biofertilizante⁽⁴⁾.

Esta possibilidade de transformação de biomassa apresenta-se bastante promissora, principalmente nas áreas rurais, onde a necessidade de desenvolvimento de alternativas energéticas e substituição de fertilizantes químicos importados é de suma importância para o contínuo aumento e melhoria de vida da população rural.

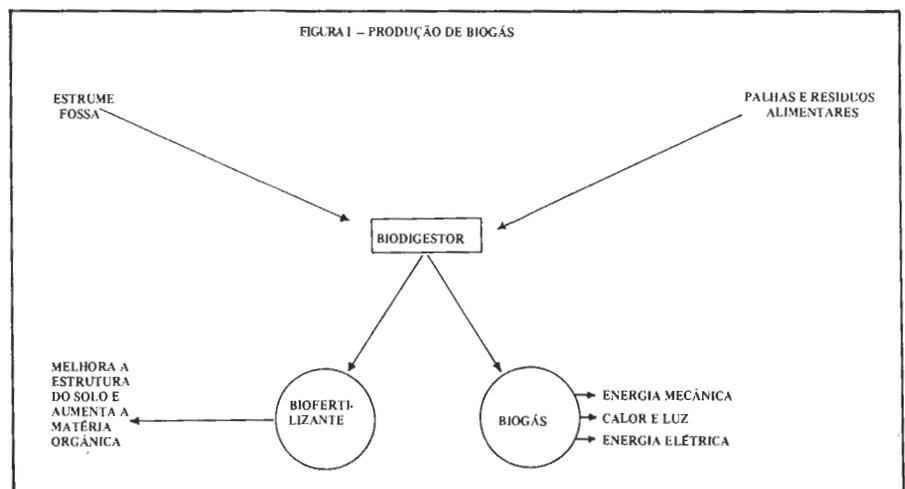
Pretende-se aqui apresentar resumidamente os princípios e condições para a produção, em pequena escala, de biogás e biofertilizante.

2 – BIOGÁS

Pela decomposição anaeróbica de matéria orgânica, obtém-se uma mistura de gases de 55 a 65% de metano⁽¹⁾. Este processo ocorre naturalmente, gás dos pântanos, por exemplo de forma controlada, em certos tipos de tratamento de esgotos. Quando o gás é produzido, de forma controlada nos biodigestores, como combustível, recebe o nome de biogás, como pode ser visto na figura 1.

Existe atualmente grande interesse em vários países pelo uso de biogás em pequena escala a nível familiar ou por pequenos povoados fornecendo combustível, melhorando o saneamento e aumentando o valor do fertilizante obtido de estrume animal e demais resíduos orgânicos.

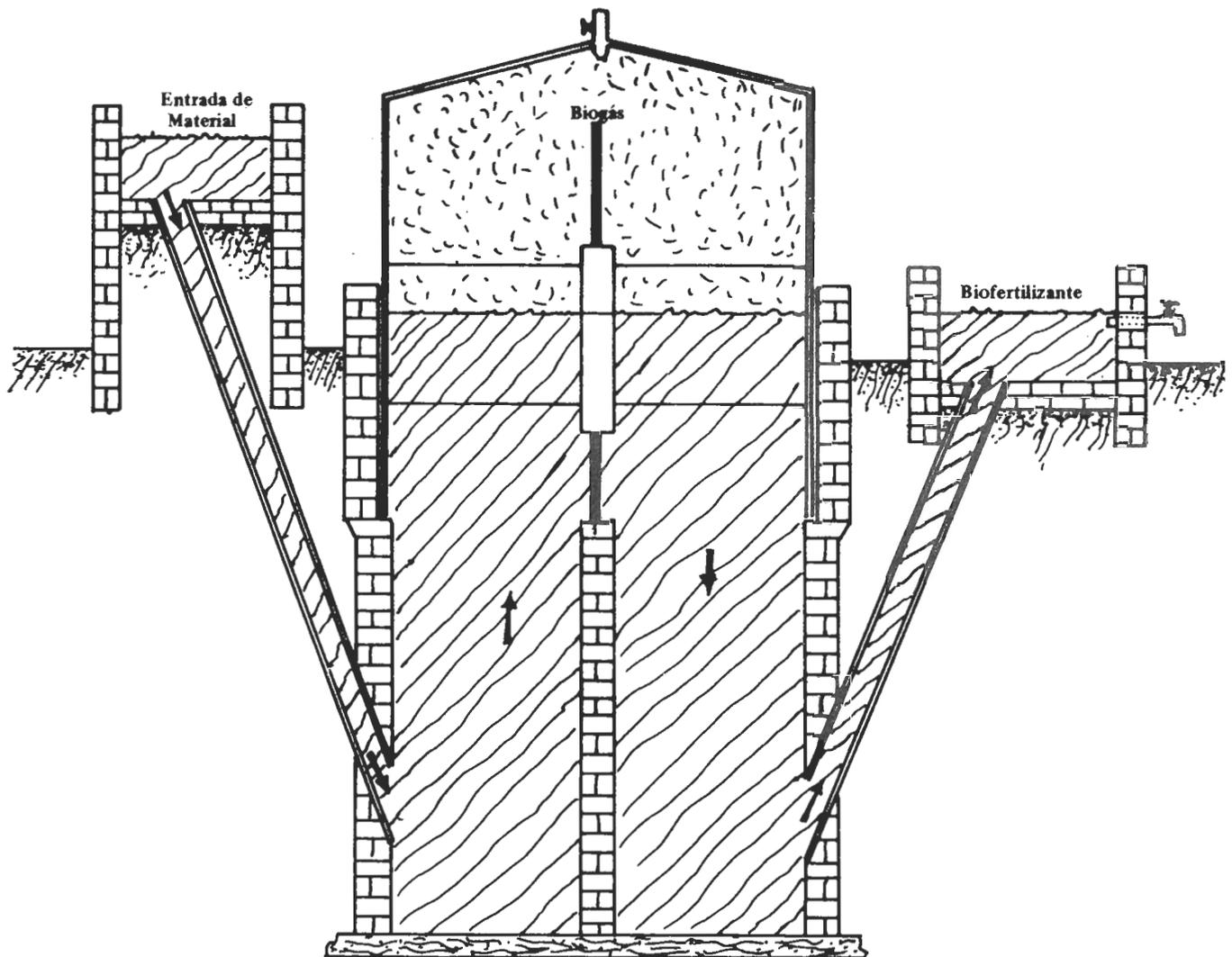
O biodigestor consiste basicamente um tanque fechado contendo água e material orgânico a ser digerido. O gás produzido neste tanque sobe e é retirado através de uma mangueira⁽³⁾. Na maioria das plantas de biodigestores reserva-se uma parte (1/3) do tanque para armazenamento do gás ou então, uma cúpula móvel é sobreposta ao tanque digestor em forma de gasômetro, conforme a figura 2.



* Professores do Departamento de Química da Universidade Estadual de Londrina.

** Professora do Departamento de Tecnologia de Alimentos e Medicamentos da Universidade Estadual de Londrina.

FIGURA 2 – BIODIGESTOR MODELO INDIANO



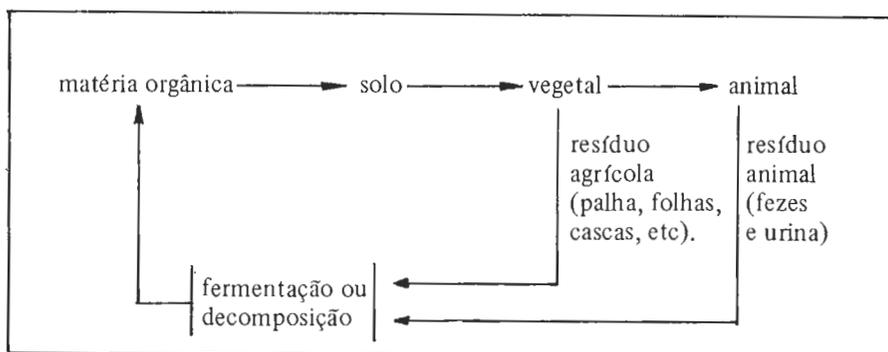
O material orgânico (Tabela I) é normalmente adicionado através de uma caixa de entrada lateral no digestor e o efluente, biofertilizante, retirado pelo lado oposto do mesmo. Uma grande variedade de modelos de biodigestores encontra-se em desenvolvimento para adequação à cada situação regional. Além dos modelos de biodigestores é necessário um estudo e adaptação quanto à temperatura, acidez ou alcalinidade e matéria-prima orgânica para fermentação.

3 – O PROCESSO DE BIODIGESTÃO

A biodigestão, ou fermentação anaeróbica da matéria orgânica, é um processo normalmente existente na natureza, perfeitamente adaptado à reciclagem da matéria nas mais diversas fases sobre a terra⁽¹⁾.

TABELA I – MATERIAL ORGÂNICO ADEQUADO PARA A PRODUÇÃO DE GÁS METANO (BIOGÁS)

RESÍDUOS DE ORIGEM VEGETAL	Bagaço de cana de açúcar, palhas e cascas de colheita de cereais, soja, girassol etc., feno, ração fermentada (estragada), ervas daninhas.
RESÍDUOS DE ORIGEM ANIMAL	Estrume, urina, lavagem de curral ou pocilga, estrume de galinhas, cama de frangos, restos de matadouros (sangue, tripas, pelancas), restos de pescaria, resíduo de curtume (couro, gordura, pele).
RESÍDUOS DE ORIGEM HUMANA	Fezes, urina, lixo doméstico orgânico.
RESÍDUOS FLORESTAIS	Galhos, folhas, cascas.
RESÍDUOS AQUÁTICOS	Algas, ervas daninhas.



Nem toda a decomposição se processa por fermentação anaeróbica, mas esta é de grande valia para o homem, pois além de ser um dos elos de reciclagem da matéria sobre a terra forma um produto, o biogás, que se constitui numa fonte de energia.

O processo de fermentação anaeróbica de resíduos agrícolas e de origem animal pode ser dividido em três estágios, conforme a figura 3. No primeiro estágio um conjunto de microorganismos anaeróbicos facultativos age sobre os resíduos orgânicos. Pela hidrólise enzimática os diferentes polímeros orgânicos de alto peso molecular, tais como celulose, hemicelulose, lipídeo e proteína, são convertidos em monômeros solúveis, principalmente glicose, que são os substitutos para o segundo estágio.

A formação desses monômeros, que servirão de substrato par o segundo estágio da biodigestão é provavelmente a a fase mais importante de toda a digestão, que se constitui no fator limitante para a continuidade da degradação anaeróbica, ou seja, o restante da biodigestão depende da velocidade de formação dos monômeros.

Esta velocidade de degradação e formação de monômeros pode ser grandemente influenciada pelas condições de fermentação quanto à temperatura, pH, matéria-prima e composição em microorganismos, ou seja, é necessária a existência de diversos tipos de bactérias capazes de degradarem os diferentes componentes da matéria-prima e que ainda, de preferência, tenham ação sinérgica.

Uma vez formados os monômeros solúveis, inicia-se o segundo estágio da biodigestão. Neste, através de uma flora bacteriana diferente, os monômeros solúveis são convertidos em ácidos orgânicos, sendo ácido acético, ácido propiônico e ácido láctico, os principais produtos desta degradação. O mecanismo de ação destas bactérias acidogênicas não é bem conhecido. Sabe-se apenas que, para a formação posterior de gás

metano, o produto mais importante deste estágio é o ácido acético, sendo utilizado como substrato pelas bactérias metanogênicas numa proporção de aproximadamente 70%. O restante do metano terá sua origem provavelmente do metanol, gás carbônico e hidrogênio, também existente no material fermentado.

A transformação de ácido acético, metanol gás carbônico e hidrogênio em gás constitui o terceiro estágio da biodigestão. Os microorganismos responsáveis pela formação de gás metano são anaeróbicos restritos, isto é, somente se desenvolvem em completa ausência de oxigênio chegando a exigir um ambiente fortemente redutor. Assim não só pequenas quantidades de oxigênio, mas qualquer composto oxidativo como nitratos e nitritos pode inibir o seu crescimento.

As bactérias metanogênicas são as mais exigentes de todo o processo de biodigestão, quanto às condições ambientais. Elas são muito sensíveis quanto a variação do pH, sendo o pH ótimo para produção de gás entre 7,0 e 7,2, mas funcionando ainda satisfatoriamente numa faixa de pH = 6,6 até pH = 7,6.

Além do fornecimento de ácido, metanol, dióxido de carbono e hidrogênio pelos microorganismos do 1o. e 2o. estágios, estes fornecem também às bactérias metanogênicas outros nutrientes na forma adequada como amônia e fosfatos⁽²⁾.

A manutenção da temperatura mais ou menos constantes também favorecerá o desenvolvimento destas bactérias produtoras de metano.

4 – MATÉRIAS PRIMAS PARA BIODIGESTÃO

Teoricamente toda substância orgânica natural pode ser empregada para biodigestão. Na prática porém, realmente são usados resíduos agrícolas, dejetos de origem animal e humana, conforme

tabela 1, e ainda, em menor escala restos orgânicos da fabricação de papel.

4.1. – Resíduos de origem vegetal

São considerados resíduos de origem vegetal, todas as partes de plantas que não tiverem nenhum aproveitamento direto. Por ex. palhas, cascas, folhas e caules.

A eficiência do emprego destas matérias-primas é dada pela disponibilidade, ou digestibilidade dos componentes mais importantes que são carbono e nitrogênio. Assim, o carbono disponível nos resíduos vegetais está sob forma de açúcares, hemicelulose e principalmente celulose. Quando os resíduos são de origem de plantas mais velhas (ou maduras) forma-se em volta da celulose uma camada protetora de lignina inacessível aos microorganismos. Mas como a quantidade de carbono disponível continua sendo bastante alta, a formação de lignina dificilmente se transforma num fator limitante para o desenvolvimento da biodigestão.

O nitrogênio é o segundo componente importante e necessário para a biodigestão. O teor de nitrogênio em plantas varia de acordo com a espécie, idade da planta e fatores ambientais tais como, disponibilidade de nitrogênio no solo, entretanto foi demonstrado experimentalmente que dificilmente o mínimo necessário de 0,6% no substrato para biodigestão é ultrapassado. Normalmente portanto, o nitrogênio disponível em resíduos vegetais não é o fator limitante para a biodigestão.

4.2. – Dejetos de origem animal

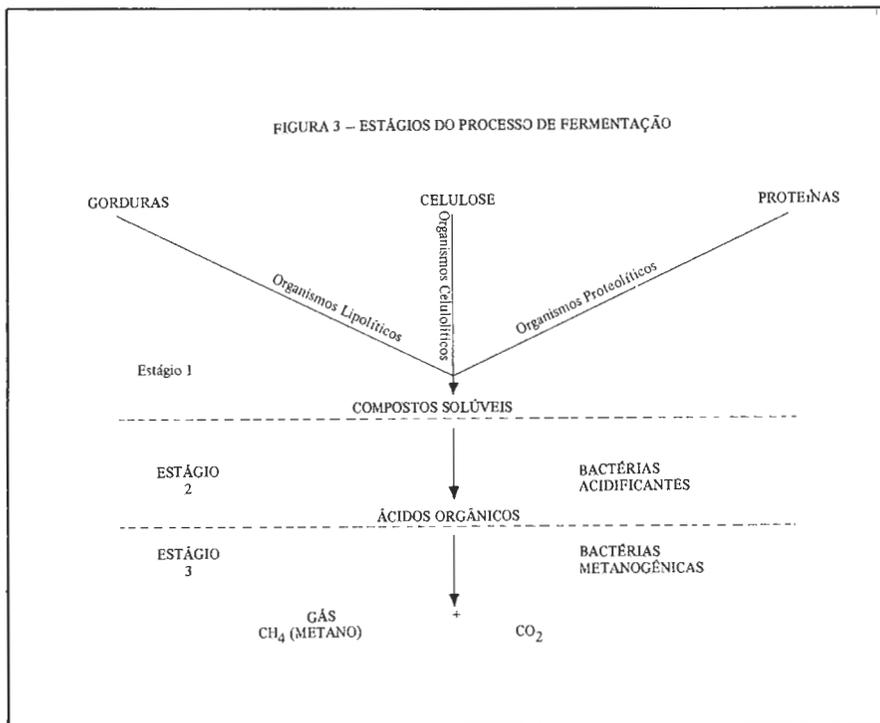
São constituídos principalmente pelas fezes, urina, sangue, restos de carcaças, pelo, gordura e demais sobras de matadouros, frigoríficos e curtumes.

A composição do estrume (fezes e urina), a matéria-prima mais comum para biodigestores, varia de acordo com a origem animal e a alimentação deste.

Genericamente, estrume animal é a melhor matéria-prima para biodigestores.

4.3. – Dejetos humanos

As fezes e urina humanas constituem uma matéria-prima de qualidade semelhante ao estrume. Tem uma composição em carbono, nitrogênio e fósforo bastante semelhante ao estrume. A utilização de fezes e urina humanas para biodigestores apresenta a vantagem a-



dicional de eliminar microorganismos patogênicos⁽⁵⁾.

4.4 – Outras matérias-primas

Os resíduos orgânicos de indústrias alimentícias, de papel e de produção de álcool (vinhoto) podem também ser utilizados para a biodigestão. Torna-se necessário porém um estudo mais detalhado sobre a composição, pois, podem existir contaminantes que inibem a biodigestão.

5 – CONDIÇÕES PARA A BIODIGESTÃO

5.1. – Fatores ambientais

5.1.1. – Os microorganismos metanogênicos, do 3o. estágio de fermentação, são anaeróbicos restritos, portanto, a formação de gás metano só ocorre em ausência completa de oxigênio. Isto significa que um biodigestor deve necessariamente ser fechado de modo a impedir a entrada de ar.

5.1.2. – A temperatura também é um parâmetro de grande importância para a biodigestão. Sua manutenção de forma adequada dentro do biodigestor pode ser feita através do isolamento, ou seja, construção subterrânea ou quando o clima já é normalmente quente através de pintura do biodigestor de preto. Porém, ocasionalmente, o isolamento simples através de construção subterrâ-

nea não é suficiente e o calor necessário poderia ser fornecido por uma camada de folhas secas, capim ou pó de serra ao redor do biodigestor. Este material, por meio de compostagem tende a se aquecer fornecendo o calor necessário ao biodigestor. É necessário substituir o material ao redor do biodigestor quando este se decompõe, pois cessa o aquecimento.

No inverno, a produção de gás pode diminuir muito ou mesmo cessar completamente. Isto pode ser evitado pela complementação com urina animal, melação e sulfato de amônia como nutrientes adicionais à mistura em digestão.

5.1.3. – O pH do meio em fermentação é altamente significante. A faixa ótima para formação do metano está entre pH 6,6 até pH = 7,6.

a) pH baixo indica produção excessiva de ácidos orgânicos.

b) pH alto indica produção insuficiente de ácidos orgânicos.

Sob condições balanceadas as reações bioquímicas mantêm o pH automaticamente, através do sistema tampão bicarbonato formado no segundo estágio da biodigestão.

Quando existe alguma alteração, podem ser usados agentes tamponantes tais como água de lima ou cinzas. As cinzas, além de manter o pH, melhoram a qualidade do biofertilizante, pois contém fosfato e potássio.

Hidróxido de amônia, não deve ser usada por ser tóxico.

5.2. – Alguns cuidados

Para se conseguir biodigestores eficientes é necessário cautela em relação a certos fatores, tais como:

5.2.1. – Impedir o contato da matéria orgânica com produtos tóxicos à fermentação como detergentes, inseticidas, herbicidas, soda cáustica, creolina e sabões.

5.2.2 – Evitar a utilização de estrume (matéria-prima) em mistura com palha ou serragem, a não ser que estes materiais, que são substratos para fermentação em potencial, estejam bem triturados. Esta precaução evitará um entupimento dos encanamentos do biodigestor e também a formação de uma crosta fibrosa na superfície do material em digestão que impossibilita a saída do gás formado e fatalmente levará a uma parada na digestão. Quando a presença de palhas é inevitável, estas devem ser previamente encharcadas com água e deixadas em repouso por 3 a 7 dias antes de sua utilização ou então prepara-se o substrato para biodigestão na proporção 1:2 (substrato: água) ao invés de 1:1 (substrato : água) que é de uso normal.

5.2.3 – A água para a mistura deve preferencialmente ser aquecida a uma temperatura de 35 – 40°C o que se consegue quando esta água é armazenada previamente em tambores ou caixas d'água pintadas de preto e expostas ao sol.

5.2.4. – Quando são utilizados esterco de suínos, aves ou equinos, aconselha-se deixá-los em pré-fermentação, numa fossa aberta, por dois a três dias juntamente com a urina dos respectivos animais.

6 – BIOGÁS – CARACTERÍSTICAS E ALGUNS PARÂMETROS PARA CONVERSÃO

O biogás é um gás inflamável produzido por microorganismos, quando matérias orgânicas são fermentadas dentro de determinados limites de temperatura, teor de umidade e acidez, num ambiente anaeróbico.

O metano, principal componente do biogás não tem cheiro e apresenta determinadas propriedades como pode ser visto na Tabela II. Porém os outros gases presentes conferem-lhe ligeiro odor de alho ou ovo podre. O gás metano (90% CH₄) queima com chama luminosa; quando puro não é luminosa. É um gás muito estável, insolúvel em água e sua combustão não deixa resíduos.

TABELA II – ALGUMAS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DO METANO

Fórmula química	CH ₄
Peso molecular	16,042
Ponto de ebulição a 760 mm Hg (1 atm)	-161,49°C
Ponto de fusão a 760 mm Hg (1 atm)	-182,48°C
Pressão crítica	47,363Kg/cm ²
Temperatura crítica	- 82,5°C
Densidade específica do metano líquido a - 164°C	0,415
Densidade específica do metano gasoso a 25°C e 760mm Hg	0,000658
Volume específico a 15,5°C e 760mm Hg	1,471/g
Valor calórico a 15,5°C e 760 mm Hg	38.130,71kg/m ³
Ar necessário para combustão m ³ /m ³	9,53
Limites de inflamabilidade	5 a 15% em Vol.
Valor de octanas	130
Temperatura de ignição	650°C
Equação de combustão	CH ₄ + 2O ₂ → CO ₂ + 2H ₂ O

O poder calorífico do biogás, varia de acordo com a quantidade de metano, existente na mistura. Em média, é de 5.500 Kcal/m³. Sendo assim, podemos observar os dados apresentados pelo Instituto da Marinha (Projeto Baroneza), os quais relacionam a equivalência em média de 1 m³ de biogás com:

Carvão vegetal.	1,5 Kg
Lenha.	3,5 Kg
Óleo diesel.	0,5 l
Querosene.	0,6 l
Álcool.	1,6 L
Gasolina.	0,7 l

A Tabela III mostra que a produção de biogás, na prática, tem-se mostrado muito variável conforme o tipo de material empregado para fermentação.

Geralmente a fermentação de um só tipo de matéria prima dá resultados mais baixos. Por isso é conveniente, como pode ser vista na Tabela IV, que se prepare misturas.

Além do emprego de misturas é necessário também, para uma boa produção de gás, manter as condições favoráveis para a fermentação. Uma biodigestão não balanceada deve ser detectada o quanto antes e isto pode ser feito através de alguns indicadores:

- a) Parâmetros de aumento
1. Concentração de ácidos voláteis
 2. Porcentagem de CO₂.

7 – BIOFERTILIZANTE – SUA UTILIZAÇÃO E BENEFÍCIOS

O biofertilizante obtido em peque-

nas unidades digestoras é de excelente utilização em hortas caseiras, plantio de forrageiras em pequena escala, produção de algas verdes para alimentação de peixes e quando obtido em grande escala, como a partir da fermentação de vinhoto, resíduos de frigoríficos, curtumes e do saneamento urbano presta-se para a adubação de grandes áreas agrícolas⁽⁶⁾.

Os benefícios obtidos a partir da utilização de biofertilizante são principalmente os seguintes:

Como o biofertilizante tem uma maior capacidade de retenção de nitrogênio (perdas de 10–15% após 10 dias de armazenamento contra perdas de 30–50% no estrume “in natura”), é enriquecido com potássio quando se usa urina na digestão; tem uma qualidade global de nutrientes disponíveis para as plantas, 25% maior que a matéria orgânica não digerida.

Devido à carga de microorganismos metanogênicos e à composição do biofertilizante, este contribui para uma melhoria da estrutura do solo, diminuindo a compactação e aumentando a friabilidade e porosidade do mesmo.

Adubação com biofertilizante em oposição à utilização direta de estrume é mais higiênica. Através da digestão há eliminação de microorganismos patogênicos e também o desenvolvimento de ervas daninhas nos campos assim adubados é diminuída pois, as respectivas sementes ingeridas pelos animais são destruídas durante a biodigestão do estrume⁽⁷⁾.

Cuidados especiais na adubação de

TABELA III – RENDIMENTO DE BIOGÁS A PARTIR DE DIFERENTES MATERIAS PRIMAS

MATÉRIA PRIMA	PROD. DE BIOGÁS POR UNID. PESO SECO M ³ /Mg.	CH ₄ NO GÁS %	TEMPERATURA DE FERMENTAÇÃO °C	TEMPO DE FERMENTAÇÃO DIAS
Estrume de vaca	0,33	—	—	—
Esterco de gado	0,31	—	—	—
Esterco de gado (Índia)	0,23 – 0,50	—	11,1 – 31,1	—
Esterco de gado (Alemanha)	0,20 – 0,29	—	15,5 – 17,3	—
Esterco de gado de corte	0,86	58	34,6	10
Estrume de galinha	0,31	60	37,3	30
Cama de frango (Jeffrey, E.A.)	0,46 – 0,54	58	32,6	10–15
Cama de frango (Goluecko, C.B.)	0,56	69	50,6	9
Estrume de porco (Jeffrey, E.A.)	0,49	61	32,9	10
Estrume de porco (Reinhold, F.)	1,02	68	34,6	20
Estrume de carneiros	0,37 – 0,61	64	—	20
Folha de forragem	0,5	—	—	29
Folha de beterraba	0,5	—	—	14
Algas	0,32	—	45 – 50	11 – 20
Excrementos humanos	0,38	—	20 – 26,2	21

TABELA IV – PRODUÇÃO DE BIOGÁS ATRAVÉS DE FERMENTAÇÃO ANAEBÓBICA, À TEMPERATURA AMBIENTE (21°C), A PARTIR DE MISTURA DE ESTRUME DE VACA E RESÍDUOS AGRÍCOLAS

MATÉRIA	Prod. de Biogás por un. de peso seco		Composição do biogás após 21 dias		
	após 21 dias m ³ /kg	após 80 dias m ³ /kg	CH ₄ %	H ₂ %	CO ₂ %
Estrume	0,063	0,21	60,0	1,1	34,4
Estrume + 0,4% de cana de açúcar	0,070	0,021	57,6	2,1	38,4
Estr. + 1% cana de açúcar + 1% uréia(44,5% N)	0,087	0,26	68,0	–	30,6
Estr. + 1% cana de açúcar + 1% CaCO ₃	0,091	0,24	70,0	–	28,0
Estr. + 2,4% folhas de Leguminosas verdes (25% mat. seca; 2,3% N)	0,063	0,20	61,6	4,0	32,0
Estr. + 20% folhas secas não Leguminosas(1,71%N)	0,081	0,22	68,0	0,6	28,0
Estrume + 1% cinzas	0,061	0,19	60,4	2,9	34,4
Estrume + 0,4% carvão	0,065	0,16	65,6	–	32,0
Estr. + urina (4% mat. seca) à base de 20ml/100g	0,087	0,24	67,0	–	32,0
Estrume + 1% Celulose	0,084	0,21	52,8	–	44,0
Estrume + 0,4% Caseína	0,087	0,22	64,0	2,4	32,0

hortas caseiras devem ser tomados quando o biofertilizante contém fermentação de 90 dias no biodigestor.

8 - CONCLUSÃO

O investimento inicial para instalação de biodigestores pode parecer alto, dada a necessidade de material de cus-

to relativamente alto para a construção, tais como tijolos, ferro e cimento. Os benefícios obtidos porém através da economia de energia e com a substituição de adubos químicos pelo biofertilizante, além da descontaminação ambiental através da utilização de resíduos agrícolas e caseiras, são fatores al-

tamente favoráveis e marcantes em prazos relativamente curtos.

Outro aspecto relevante é dado pela simplicidade de instalação, manuseio e manutenção dos biodigestores, tornando a sua divulgação e implementação nos meios rurais relativamente simples e proveitosos.

ABSTRACT

Among the alternative energy sources available in Brazil, one of the most promising is biomass energy, due mainly to its renewable characteristics. Methane gas production, one of the possible transformations of biomass, is particularly interesting because the gas is obtained from animal and plant residues, otherwise of little further use, or eventually even held to be contaminants and pollutants. Besides the energy production, the installed and utilized in rural areas, yields another product, biofertilizer, of excellent and profitable employment in agriculture. The digestion process, correct use of the organic raw material and characteristics of biogas and biofertilizer are described.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 – ADVISORY COMMITTEE ON TECHNOLOGY INNOVATION. *Methane generation from human, animal and agricultural wastes.* Washington, D.C., National Academy of Sciences, 1977.
- 2 – BREMEN OVERSEAS RESEARCH AND DEVELOPMENT ASSOCIATION. *Biogás: manual for the realisation of biogás programmes.* Bremen, 1979.
- 3 – COMPANHIA AUXILIAR DE EMPRESAS ELETRICAS BRASILEIRAS. *O Biogás e sua tecnologia.* Rio de Janeiro, 1930.
- 4 – LA ENERGIA em los países em desarrollo. Washington, D.C. Banco Mundial, 1980.
- 5 – PFEFFER, T.J. Methane from urban solid wastes; the Ref-COM project. *Process. Biochem.*, Walford, 13 (6) : 8 – 11, June 1978.
- 6 – STEWART, J.H. RICHMOND, B. Biogás for Javanese villages; a simple unit. *Appropriate Technol. Forest Grove*, 7 (2), 15 – 17, Sep. 1980.
- 7 – —. Biogás for Javanese villages; the products of digestion. *Appropriate Technol.*, Forest Grove, 7 (3), Dec. 1980.