



GUILHERME BEZERRA PERMINIO

**VIABILIDADE DO USO DE BIODIGESTOR
COMO TRATAMENTO DE EFLUENTES
DOMÉSTICOS DESCENTRALIZADO**

LAVRAS - MG

2013

GUILHERME BEZERRA PERMINIO

**VIABILIDADE DO USO DE BIODIGESTOR COMO TRATAMENTO DE
EFLUENTES DOMÉSTICOS DESCENTRALIZADO**

Monografia Apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós Graduação *Latu Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para a obtenção do título de Especialista em Formas Alternativas de Energia.

Orientador

Dr. Hosmanny M. G. Coelho

LAVRAS - MG

2013

GUILHERME BEZERRA PERMINIO

**VIABILIDADE DO USO DE BIODIGESTOR COMO TRATAMENTO DE
EFLUENTES DOMÉSTICOS DESCENTRALIZADO**

Monografia Apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós Graduação *Latu Sensu* em Formas Alternativas de Energia, para a obtenção do título de Especialista em Formas Alternativas de Energia.

APROVADA em ____ de _____ de 2013.

Dr. _____

Dr. _____

Dr. Hosmanny M. G. Coelho
Orientador

LAVRAS - MG
2013

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

À Universidade Federal de Lavras pelo curso oferecido.

Ao coordenador do curso, Dr. Gilmar Tavares, pela disponibilidade e compromisso com o curso.

Aos professores do curso de Pós-graduação em Formas Alternativas de Energia.

Aos tutores e funcionários do curso, que desempenharam papel importante no andamento do curso.

Aos professores que se disponibilizaram a participar da banca examinadora.

Finalmente, agradeço ao meu orientador Dr. Hosmanny M. G. Coelho, pela orientação na construção deste trabalho.

RESUMO

A agricultura de base familiar no Brasil, segundo o IBGE, reúne aproximadamente 14 milhões de pessoas e detém 84,4% dos estabelecimentos, ocupando apenas 24,3% do território agropecuário. Mesmo ocupando 1/4 da área, é responsável por 38% do valor da produção e, cultivando uma área menor, é grande responsável pela segurança alimentar dos brasileiros. Os serviços de saneamento prestados a esta parcela da população apresentam elevado déficit de cobertura. Conforme dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD/2009, apenas 32,8% dos domicílios nas áreas rurais estão ligados a redes de abastecimento de água com ou sem canalização interna. O restante da população (67,2%) capta água de chafarizes e poços protegidos ou não, diretamente de cursos de água sem nenhum tratamento ou de outras fontes alternativas geralmente insalubres. Quando são analisados dados de esgotamento sanitário: apenas 5,7% dos domicílios estão ligados à rede de coleta de esgotos e 20,3% utilizam a fossa séptica como solução para o tratamento dos dejetos. Os demais domicílios (74%) depositam os dejetos em “fossas rudimentares”, lançam em cursos d’água ou diretamente no solo a céu aberto (PNAD/2009). Este cenário contribui direta e indiretamente para o surgimento de doenças de veiculação hídrica, parasitoses intestinais e diarreias, as quais são responsáveis pela elevação da taxa de mortalidade infantil. O presente estudo propõe o uso de biodigestores como alternativa para o tratamento de efluentes de forma descentralizada, minimizando custos com redes de coleta e gerando um produto final seguro com relação a agentes patogênicos, eliminando problemas recorrentes nestas áreas com doenças entéricas. Outro ponto do estudo é o aproveitamento do biofertilizante, produto final do processo da biodigestão, como um importante fertilizante agrícola, que, segundo estudos, se apresenta como um bom condicionador de solos, alterando positivamente suas qualidades físico-químico-biológicas. Tem-se como proposta o uso de fossas sépticas biodigestoras de baixo custo, alta capacidade de reprodutibilidade e eficiência no tratamento dos dejetos.

Palavras-chave: Fossa séptica biodigestora. Biodigestão anaeróbia. Tratamento alternativo de efluentes. Agroecologia. Permacultura. Tecnologias sociais.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Biodigestor Tipo Indiano (Modelo Piloto)	15
Figura 2	Esquema de um Biodigestor Modelo Chinês	15
Figura 3	Ilustração representativa da fossa séptica biodigestora	29
Figura 4	Detalhe do abastecimento da mistura ativadora	30
Figura 5	Ilustração do suspiro.....	31
Figura 6	Ilustração da instalação do sistema	33
Figura 7	Ilustração dos materiais necessários.....	35
Figura 8	Fotos de pés de graviola. a) Aplicação de adubação química e b) aplicação do efluente do biodigestor.	45
Quadro 1	Quantificação dos materiais necessários	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Comparação de características de construção.....	19
Tabela 2	Composição média do biogás	23
Tabela 3	Comparação entre o biogás e outros combustíveis	24
Tabela 4	Equivalência entre o biogás e outros combustíveis	25
Tabela 5	Capacidade para geração de 1m ³ de biogás	25
Tabela 6	Resultado representativo das análises físico-químicas e microbiológicas do efluente na entrada e saída do biodigestor (análise realizada em março de 2009).....	41
Tabela 7	Elementos de interesse presentes no efluente tratado (ponto 5). Os valores correspondem a 5 coletas diferentes.....	42
Tabela 8	Resultados da análise química de rotina, para determinação da fertilidade do solo após a aplicação de adulação NPK e do efluente do biodigestor nos perfis do solo de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm	43
Tabela 9	Resultados da análise foliar após a aplicação de adulação NPK e do efluente do biodigestor.....	45
Tabela 10	Resultados da análise química de rotina, após a aplicação de adubação NPK e do efluente do biodigestor, nos perfis do solo de 0 a 10 e 10 a 20 cm	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	10
2.1	Breve histórico dos biodigestores	10
2.2	Os modelos chinês e indiano de biodigestor	14
2.3	Comparação entre os Biodigestores Modelo Chinês e Indiano.....	18
2.4	Produção, Características e Utilização do Biogás.....	20
2.5	Nova abordagem	26
2.6	Fossa séptica biodigestora	26
2.6.1	Funcionamento da fossa séptica biodigestora	28
2.6.2	Escolha do local.....	32
2.6.3	Materiais necessários e estimativa de custo.....	34
3	METODOLOGIA.....	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	Análise bacteriológica e patogênica do efluente final.....	37
4.2	Efeitos do uso e análise do biofertilizante.....	39
4.3	Análise econômica do biofertilizante e da viabilidade do projeto da fossa séptica biodigestora.....	48
4.4	Considerações finais sob o projeto da fossa séptica biodigestora....	49
5	CONCLUSÕES.....	52
	REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

Segundo o IBGE, a agricultura de base familiar reúne 14 milhões de pessoas, mais de 60% do total de agricultores, e detém 84,4% dos estabelecimentos agrícolas no Brasil. Nestas áreas são raros a coleta e tratamento adequado dos efluentes, pois, apesar de representar uma porcentagem relevante da população, estão distribuídas em vastas extensões do território com uma baixa densidade populacional, o que inviabiliza estações de tratamento e o abastecimento de água potável.

É comum nessas propriedades o uso de fossas rudimentares, conhecidas como fossa negra, que podem causar prejuízos ao meio ambiente, à sociedade e à economia, pois podem contaminar o ar, o solo e a água, sendo a atividade agropecuária grande consumidora de água e geradora de resíduos. Assim, há a possibilidade de contaminação dessa população, por doenças veiculadas pela urina, fezes e água, como hepatite, cólera, salmonelose e outras.

A escassez de água potável, os conflitos associados aos usos múltiplos e a cobrança pelo uso vêm pressionando a tomada de decisões que envolvam o tratamento de água, esgoto e resíduos e o reúso de água. O biodigestor anaeróbio pode se apresentar como uma boa alternativa, já que, através de um processo de degradação biológica, consegue tratar esses resíduos transformando-os em biogás e biofertilizante, ciclando nutrientes dentro da propriedade que, de outra forma, o excelente adubo provindo das fezes humanas seria perdido.

O biogás pode ser usado como complemento à eficiência energética da casa, podendo ser usado no fogão e no aquecedor de água. O biofertilizante, outro produto do processo da biodigestão, pode se apresentar como um bom adubo ciclando nutrientes dentro da propriedade e contribuindo para a sustentabilidade do mesmo.

Neste contexto, o presente trabalho busca investigar soluções para aliar a necessidade de conservação do meio ambiente e o bem estar das populações no que se refere ao processo de tratamento de resíduos poluidores, assim como buscar meios para a transformação destes em fontes renováveis de energia. Outro ponto deste estudo é investigar técnicas capazes de gerar empoderamento social e, chegar a algum modelo de tratamento que atenda às necessidades familiares livre de patógenos, ciclando nutrientes, com baixo custo e capacidade de reprodutibilidade do projeto e apropriação do mesmo pelos beneficiados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Um biodigestor compõe-se, basicamente, de uma câmara fechada na qual uma biomassa (em geral dejetos de animais) é fermentada anaerobicamente, isto é, sem a presença de ar. Como resultado desta fermentação ocorre a liberação de biogás e a produção de biofertilizante. É possível, portanto, definir biodigestor como um aparelho destinado a conter a biomassa e seu produto: o biogás. Como definiu Barrera (1993, p. 11), "o biodigestor, como toda grande idéia, é genial por sua simplicidade". Tal aparelho, contudo, não produz o biogás, uma vez que sua função é fornecer as condições propícias para que um grupo especial de bactérias, as metanogênicas, degrade o material orgânico, com a consequente liberação do gás metano.

Existem vários tipos de biodigestor, mas, em geral, todos são compostos, basicamente, de duas partes: um recipiente (tanque) para abrigar e permitir a digestão da biomassa, e o gasômetro (campânula), para armazenar o biogás. Em relação ao abastecimento de biomassa, o biodigestor pode ser classificado como contínuo com abastecimento diário de biomassa, com descarga proporcional à entrada de biomassa, ou intermitente, quando utiliza sua capacidade máxima de armazenamento de biomassa, retendo-a até a completa biodigestão. Então, retiram-se os restos da digestão e faz-se nova recarga.

2.1 Breve histórico dos biodigestores

Embora a primeira instalação operacional destinada a produzir gás combustível só tenha surgido na segunda metade do século XIX, o biogás já era conhecido desde há muito tempo, pois a produção de gás combustível a partir de resíduos orgânicos não é um processo novo. Já em 1776, o pesquisador italiano Alessandro Volta descobriu que o gás metano já existia incorporado ao chamado

"gás dos pântanos", como resultado da decomposição de restos vegetais em ambientes confinados.

Em 1806, na Inglaterra, Humphrey Davy identificou um gás rico em carbono e dióxido de carbono, resultante da decomposição de dejetos animais em lugares úmidos. Ao que parece, apenas em 1857, em Bombaim, Índia, foi construída a primeira instalação operacional destinada a produzir gás combustível, para um hospital de hansenianos. Nessa mesma época, pesquisadores como Fisher e Schrader, na Alemanha e Grayon, na França, entre outros, estabeleceram as bases teóricas e experimentais da biodigestão anaeróbia. Posteriormente, em 1890, Donald Cameron projetou uma fossa séptica para a cidade de Exeter, Inglaterra, sendo o gás produzido utilizado para iluminação pública. Uma importante contribuição para o tratamento anaeróbio de esgotos residenciais foi feita por Karl Imhoff, na Alemanha, que, por volta de 1920, desenvolveu um tanque biodigestor, o tanque Imhoff, bastante difundido na época. (NOGUEIRA, 1986, p. 1-2)

Sganzerla (1983), também aponta para Bombaim como o "berço" do biodigestor. Pela literatura existente, o primeiro biodigestor posto em funcionamento regular na Índia foi no início deste século em Bombaim. Em 1950, Patel instalou, ainda na Índia, o primeiro Biodigestor de sistema contínuo. Na década de 60, Fry, um fazendeiro, desenvolveu pesquisas com biodigestores da África do Sul. (SGANZERLA, 1983, p. 8)

O primeiro digestor a batelada que recebe carga total de biomassa e somente é esvaziado após a total conversão da biomassa em biofertilizante e biogás foi, segundo Seixas *ET AL* (1980, p. 6-7), "posto em funcionamento regular em Bombaim, em 1900. Durante e depois da Segunda Grande Guerra, alemães e italianos, entre os povos mais atingidos pela devastação da guerra, desenvolveram técnicas para obter biogás de dejetos e restos de culturas".

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

A utilização do biogás, também conhecido como *gobar gas* (que em indiano significa gás de esterco), como fonte de energia motivou a China a adotar a tecnologia a partir de 1958, onde, até 1972, já haviam sido instalados 7,2 milhões de biodigestores na região do Rio Amarelo. Tal localização não é acidental, pois as condições climáticas da região a tornam propícias para a produção de biogás.

A partir da crise energética deflagrada em 1973, a utilização de biodigestores passou a ser uma opção adotada tanto por países ricos como países de Terceiro Mundo. Em nenhum deles, contudo, o uso dessa tecnologia alternativa foi ou é tão acentuado como na China e Índia.

O interesse da China pelo uso de biodigestores deveu-se, originalmente, a questões militares. Preocupada com a Guerra Fria, a China temeu que um ataque nuclear impedisse toda e qualquer atividade econômica (principalmente industrial). Entretanto, com a pulverização de pequenas unidades biodigestoras ao longo do país, algumas poderiam escapar ao ataque inimigo.

Há pelo menos meio século, para os chineses, a implantação de biodigestores transformou-se em questão vital, incrustada em lógicas de política

internacional. Um país continental, com excesso de população, a China buscou, durante os anos 50 e 60, no auge da Guerra Fria, por uma alternativa de descentralização energética. Baseavam-se em uma lógica simples. No caso de uma guerra que poderia significar a destruição quase total da civilização existente, o ataque às centrais energéticas, como poderosas usinas hidroelétricas, representaria o fim de toda atividade econômica. Isso porque a energia deixaria de ser disponível nos grandes centros, mas naqueles pequenos centros, a pequenas unidades de biodigestão conseguiriam passar incólumes ao poder inimigo. A descentralização, portanto, implica em criar unidades suficientes nas pequenas vilas, vilarejos e regiões mais longínquas.

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

Já a Índia não pensava em guerras nucleares (convém lembrar que esta sempre fez parte do grupo dos países conhecidos como "não alinhados"). A fome e a falta de combustíveis fósseis é que motivaram o desenvolvimento da tecnologia dos biodigestores. Barrera (1993, p. 18) lembra que a Índia não é (ao contrário da China) autossuficiente em petróleo, vendo-se obrigada a buscar soluções para alimentar as imensas populações marginalizadas pelo sistema de castas ainda não erradicado daquele país.

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

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

2.2 Os modelos chinês e indiano de biodigestor

Dentre os biodigestores de sistema de abastecimento contínuo mais difundidos no Brasil estão os modelos indiano (Figura 1) e chinês (Figura2). O modelo chinês é mais rústico e completamente construído em alvenaria, ficando quase que totalmente enterrado no solo. Funciona, normalmente, com alta pressão, a qual varia em função da produção e consumo do biogás, destarte contar com uma câmara de regulação, a qual lhe permitiria trabalhar com baixa pressão.

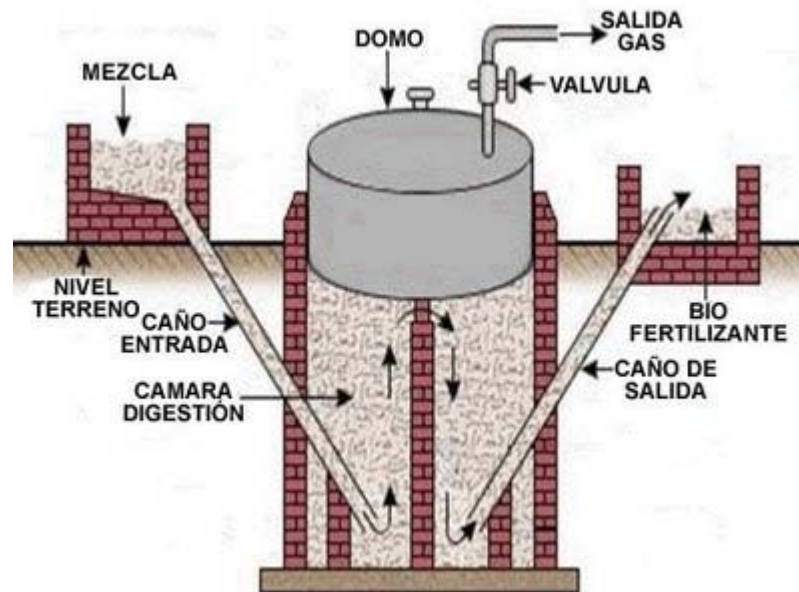


Figura 1 Biodigestor Tipo Indiano (Modelo Piloto)

Fonte: AVELLAR, L. H. N.; CARROCI, L. R.; SILVEIRA, J. L., 2003

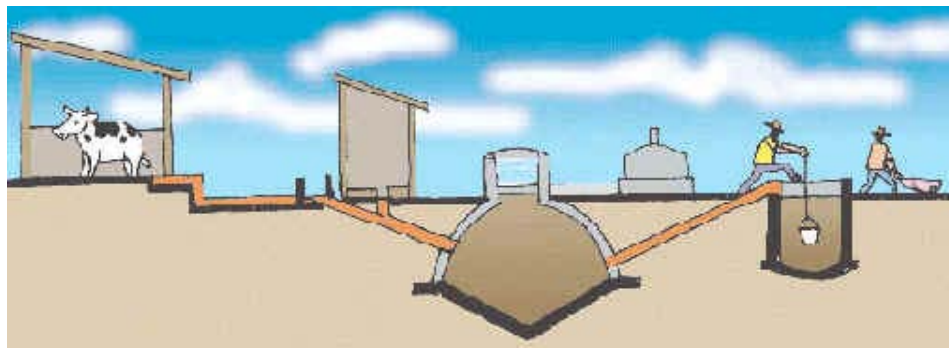


Figura 2 Esquema de um Biodigestor Modelo Chinês

Fonte: AVELLAR, L. H. N.; CARROCI, L. R.; SILVEIRA, J. L., 2003

Uma das maiores críticas feitas ao modelo chinês de biodigestor é a técnica requerida para sua construção. O trabalho, todo em alvenaria, requer um trabalho de pedreiro de primeira linha, pois os tijolos usados na construção da

câmara onde a biomassa é digerida (e que é encimada pela câmara do gás) precisam ser assentados sem o concurso de escoramento. Utiliza-se uma técnica que emprega o próprio peso do tijolo para mantê-lo na posição necessária até que a argamassa cure. As paredes externas e internas precisam receber uma boa camada de impermeabilizante, como forma de impedir infiltrações de água (proveniente da água absorvida pelo solo durante as chuvas ou de algum lençol freático próximo) e trincas ou rachaduras.

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

De acordo com os críticos mais severos do biodigestor tipo chinês, a grande restrição para seu uso entre nós era a oscilação da pressão de consumo, ora com pressões elevadas, ora com baixas pressões. Conforme as demais soluções encontradas, como impermeabilização e o processo construtivo, a obtenção de uma pressão constante no consumo deveria ser simples, acessível. Na saída dos botijões de gás em nossas casas, existe uma válvula reguladora de pressão que é do conhecimento geral.

Exatamente um regulador de pressão do mesmo princípio, só que adaptado a pressões mais baixas para o biogás, chegou à EMATER para ser testado. Coincidência, sim, em relação à época de teste no biodigestor da Universidade. O resultado foi excelente. Bastava uma válvula para garantir a mesma pressão, de 14 centímetros de coluna d'água, no consumo de todos os equipamentos [empregados no teste de consumo do biodigestor], 02 lampiões, 02 fogões, 01 ferro de passar roupa e 01 geladeira. Desta forma, o último grande objetivo foi alcançado. (COSTA; SILVA; GOMES, 1985, p. 10-11).

O biogás fornecido pelo digestor modelo chinês é levado até o destino de consumo (normalmente o interior da residência, embora possa ser utilizado, por exemplo, para acionar ventiladores que mantenham a temperatura ideal em uma incubadeira de aves) por tubos e conexões soldáveis em PVC. A instalação do biodigestor deve ser feita sob a supervisão de pessoal capacitado na área de condução de gases. Tais profissionais podem ser encontrados, geralmente, com o auxílio da EMATER de cada Estado ou das cooperativas e associações pecuaristas (bovinocultores, suinocultores, avicultores, entre outros).

De acordo com Sganzerla (1983), o modelo indiano é o mais usado no Brasil devido à sua funcionalidade. Quando construído, apresenta o formato de um poço que é o local onde ocorre a digestão da biomassa, coberto por uma tampa cônica, isto é, pela campânula flutuante que controla a pressão do gás metano e permite a regulagem da emissão do mesmo. Outra razão para sua maior difusão está no fato do outro modelo, o chinês, exigir a observação de muitos detalhes para sua construção.

É possível, tecnicamente, comparar a construção de um biodigestor com a de um forno. Sganzerla (1983) salienta que uma das vantagens do modelo indiano é a sua campânula flutuante, que permite manter a pressão de escape de biogás estável, não sendo necessário regular constantemente os aparelhos que utilizam o metano. Uma desvantagem, razoavelmente significativa, é o preço da construção da campânula, normalmente moldada em ferro. Este modelo oferece, em relação ao modelo chinês, algumas vantagens no momento da construção, pois pode ser adaptado ao clima local e ao tipo de solo. Não há necessidade de se estabelecer medidas fixas para o diâmetro e a profundidade, bastando que se observe a relação de capacidade do tanque digestor e da campânula.

Em função da variabilidade do solo (profundidade dos lençóis freáticos próximos) é possível alterar a profundidade do biodigestor em função do diâmetro. Assim, quanto menor a profundidade, maior deverá ser o diâmetro, e

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

2.3 Comparação entre os Biodigestores Modelo Chinês e Indiano

A Tabela 1, a seguir, efetua uma comparação entre as características gerais dos modelos chinês e indiano de biodigestores, como forma de esclarecer melhor as vantagens e desvantagens de cada um.

Tabela 1 Comparação de características de construção

SISTEMA CHINÊS	SISTEMA INDIANO
MATERIAIS	
Tijolo, pedra, concreto, areia, cimento, ferro.	
SISTEMA	
Abastecimento periódico, esvaziamento não-periódico.	Abastecimento e esvaziamento periódicos.
POSSIBILIDADE DE AUTO-INSTALAÇÃO	
Pode ser montado inteiramente pelo usuário, desde que tenha bastante habilidade como pedreiro.	Pode ser montado pelo usuário, mas a câmara de gás deve ser feita em oficina metalúrgica.
ISOLAMENTO TÉRMICO	
Feito dentro da terra, tem bom isolamento natural e a temperatura é mais ou menos constante. Pode-se melhorar o isolamento fazendo o biodigestor sob currais ou estábulos.	Tem perdas de calor pela câmara de gás metálica, difícil de isolar, menos indicado para climas frios.
PERDAS DE GÁS	
A parte superior deve ser protegida com materiais impermeáveis e não-porosos; difícil obter construção estanque.	Sem problemas.
MATÉRIAS-PRIMAS USADAS	
Esterco e outros restos orgânicos (incluindo materiais fibroso), excrementos humanos.	Esterco, excrementos e materiais fibrosos acrescentados como aditivo.
SISTEMA CHINÊS	SISTEMA INDIANO
PRODUTIVIDADE	
Tempo de digestão 40-60 dias; produção de 150 a 350l por m ³ do volume do digestor/dia. Se for perfeitamente estanque pode produzir até 600 l/m ³ /dia	Tempo de digestão 40-60 dias, produção 400 a 600 l/m ³ /dia.
MANUTENÇÃO	
Deve ser limpadado uma ou duas vezes por ano.	A câmara de gás deve ser pintada uma vez por ano.
CUSTO	
Razoável se for possível a ajuda mútua.	Mais caro (depende do custo da campânula).
MELHORIAS POSSÍVEIS	
Abóbada impermeável, adoção de agitadores, montagem de aquecimento.	Campânula inoxidável, melhoria no isolamento térmico da mesma.

Fonte: Barrera, Paulo 1993

Barrera (1993, p. 18-19) considera que "a produção de biofertilizante é a mesma nos dois modelos. Tecnicamente, para as condições climáticas da maior parte do Brasil, a menor capacidade de aproveitamento da produção de gás do modelo chinês é insignificante. Por isso, os órgãos brasileiros de extensão rural optaram pelo modelo chinês, dadas as suas facilidades de construção e tecnologia mais simples."

2.4 Produção, Características e Utilização do Biogás

Embora este não seja o enfoque do presente trabalho, será feita uma breve análise e estudo do que os biodigestores apresentam com o uso do biogás, principalmente em se tratando de criação animal intensiva.

O biogás é produto da ação digestiva das bactérias metanogênicas, composto, principalmente, por gás Carbônico (CO₂) e Metano (CH₄), embora apresente traços de Nitrogênio (N), Hidrogênio (H) e gás Sulfídrico (H₂S). Ele se forma através da decomposição de matéria orgânica (biomassa) em condições anaeróbicas. Segundo Seixas (1980), a decomposição anaeróbica desenvolve-se ao longo de três fases distintas:

- a) período de hidrólise - ocorre a liberação, pelas bactérias, no meio anaeróbico, de enzimas extracelulares, que causam a hidrólise das partículas orgânicas, transformando as moléculas em moléculas menores e solúveis ao meio;
- b) período de acidulação - como o próprio nome indica, nesta fase as bactérias produtoras de ácidos degradam moléculas de proteínas, gorduras e carboidratos em ácidos orgânicos (como ácido láctico e butírico), álcool, como o etanol, e gases, como amônia, hidrogênio e dióxido de carbono, entre outros;

- c) período de metanogênese - aqui as bactérias metanogênicas agem sobre o hidrogênio e o dióxido de carbono, transformando-os em álcool (metanol).

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

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

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

Indubitavelmente, a temperatura encontrada no interior da câmara de digestão afeta significativamente a produção de biogás, uma vez que os microorganismos metanogênicos são extremamente sensíveis a alterações

bruscas de temperatura. Devido a isso, Costa, Silva e Gomes (1985) aconselham que a escolha do terreno para a instalação do biodigestor e os processos de impermeabilização e vedação (reboco) das paredes do aparelho sejam cuidadosamente executados, a fim de assegurar uma temperatura relativamente estável.

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

O teor de água deve normalmente situar-se em torno de 90% do peso do conteúdo total. O excesso ou a falta de água é igualmente prejudicial à produção de biogás. As características específicas das matérias-primas a serem fermentadas devem ditar o teor de água presente na mistura. É simplesmente impossível impedir que determinados elementos prejudiciais aos microorganismos adentrem o biodigestor, dissolvidos na mistura da biomassa. Entretanto, certos elementos, como NaCl, Cu, Cr, NH₃, K, Ca, Mg e Ni, não representam uma grande ameaça se suas concentrações estiverem muito diluídas. A presença destas substâncias pode ser evitada ou minimizada se for feito um estudo criterioso da alimentação dos animais, que contribuem para a formação da biomassa. Alguns tipos de ração podem conter altos teores de alguns desses elementos, e uma simples mudança na dieta dos animais pode ser a solução do problema. O exame da água a ser misturada com a matéria orgânica também é uma medida apreciada para evitar que substâncias nocivas à vida dos microorganismos sejam adicionadas à biomassa, que abastece a câmara de digestão.

Quando as especificações de qualidade de vida dos microrganismos são atendidas, o biogás obtido deve, segundo Seixas *et al* (1980), ser composto de uma mistura de gases, com cerca de 60 ou 65% do volume total consistindo em metano, enquanto os 35 ou 40% restantes consistem, principalmente, em gás carbônico, e quantidades menores de outros gases. Naturalmente, a composição do biogás varia de acordo com o tipo e quantidade de biomassa empregada, os fatores climáticos e as dimensões do biodigestor, entre outros, mas a composição básica não deve variar significativamente, devendo apresentar a composição descrita na Tabela 2.

Tabela 2 Composição média do biogás

1.3.4 TIPO DE GÁS	1.3.5 COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS EM %
Metano (CH ₄)	60 a 70
Gás Carbônico (CO ₂)	30 a 40
Nitrogênio (N)	Traços
Hidrogênio (H)	Traços
Gás Sulfídrico (H ₂ S)	Traços

Fonte: SGANZERLA, 1983, p. 10

O metano, principal componente do biogás, é um gás incolor, inodoro, altamente combustível. Sua combustão apresenta uma chama azul-lilás e, às vezes, com pequenas manchas vermelhas. Não produz fuligem e seu índice de poluição atmosférico é inferior ao do butano, presente no gás de cozinha. O biogás é um gás inflamável produzido por microrganismos quando matérias orgânicas são fermentadas dentro de determinados limites de temperatura, teor de umidade e acidez, em um ambiente impermeável ao ar. O metano, principal componente do biogás, não tem cheiro, cor ou sabor, mas os outros gases presentes conferem-lhe um ligeiro odor de alho ou de ovo podre. O peso do metano é pouco mais da metade do peso do ar, ou seja:

1 m³ de metano/1 m³ de ar equivale a 0,716 kg/1,293 kg, ou seja, 0,554 kg. (BARRERA, 1993, p. 9).

É esta percentagem de metano que confere ao biogás um alto poder calorífico, o qual varia de 5.000 a 7.000 kcal por metro cúbico, e que, submetido a um alto índice de purificação, pode gerar um índice de até 12.000 kcal por metro cúbico.

Torna-se interessante comparar a capacidade calorífica do biogás com outras fontes energéticas encontradas na natureza. É o que mostram as tabelas 3 e 4, embora existam certas discrepâncias entre os dados apontados por uma e outra.

Tabela 3 Comparação entre o biogás e outros combustíveis

Combustíveis	1m³ de biogás equivale a
Gasolina	0,613 litros
Querosene	0,579 litros
Óleo diesel	0,553 litros
Gás de cozinha (GLP)	0,454 litros
Lenha	1,536 Kg
Álcool hidratado	0,790 litros
Eletricidade	1,428 kw

Fonte: BARRERA, 1993, p. 10.

Apesar destes dados apresentarem pequenas divergências, causadas, possivelmente, por diferenças na produção do biogás, devido à utilização de biodigestores adaptados a diferentes regiões do Brasil, fica claro, tanto em uma como em outra tabela, a capacidade calorífica do biogás.

Tabela 4 Equivalência entre o biogás e outros combustíveis

COMBUSTÍVEIS	1M³ DE BIOGÁS EQUIVALE A
Gasolina	0,321 litros
Querosene	0,342 litros
Óleo diesel	0,358 litros
Gás de cozinha (GLP)	0,396 kg
Lenha	1,450 kg

Fonte: FUNDAÇÃO, p. 9, 1982.

Outro dado importante a ser computado na análise da capacidade calorífica do biogás: enquanto um barril de petróleo custa aproximadamente US\$ 21,57 [valor em maio de 2002], um metro cúbico de biogás apresenta um custo mínimo. Um metro cúbico de biogás, oriundo de um biodigestor corretamente instalado e operado, custa bem menos ao produtor, pois a matéria-prima para a produção do biogás representa apenas o custo normal que o criador tem para manter o animal vivo e saudável (vacinas, rações, estrebarias, pocilgas).

Tabela 5 Capacidade para geração de 1m³ de biogás

MATERIAL	QUANTIDADE
Esterco fresco de vaca	25 kg
Esterco de suíno	12 kg
Esterco seco de galinha	5 kg
Resíduos vegetais	25 kg
Lixo	20 kg

Fonte: BARRERA, Paulo. Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural. São Paulo: Ícone, 1993, p. 11.

Examinando os dados da Tabela 5 percebe-se que, no caso dos dejetos suínos como matéria-prima, a produção de 1m³ de biogás requer somente 12 kg de dejetos suínos. Assim sendo, se um suíno produz cerca de 2,25 kg de

dejetos/dia, são necessários cerca de 5 animais para a produção de 12 kg/diários de dejetos, com conseqüente produção de 1m³ de biogás.

2.5 Nova abordagem

Atualmente, o modelo de biodigestor mais difundido no Brasil é aquele feito de manta de PVC, de baixo custo e fácil instalação comparado com os modelos antigos, e com a vantagem de poder ser usado tanto para pequenos produtores como para grandes projetos agro-industriais. O setor privado, contando com o apoio de universidades e entidades de pesquisa, tem sido a principal força no desenvolvimento do mercado, tanto na oferta quanto na demanda desses novos sistemas de biodigestão. Além das melhorias técnicas nos sistemas, a tecnologia de biodigestão hoje desperta o interesse de produtores porque está se considerando o aproveitamento integral do esterco animal, não só para biogás como para biofertilizante. Além disso, grande importância é dada ao tratamento adequado de dejetos, para evitar a poluição dos recursos hídricos e a emissão de gases de efeito-estufa. No caso da caprinocultura e outras criações no nordeste, verifica-se que a biodigestão poderá contribuir para reduzir doenças nos rebanhos causadas pelo tratamento inadequado dos dejetos, melhorar o acesso a energia limpa e renovável, preservar a vegetação local substituindo a lenha pelo biogás, e melhorar a qualidade do solo, incluindo a sua capacidade de reter água, com a aplicação do biofertilizante.

2.6 Fossa séptica biodigestora

Como o enfoque do trabalho se dá ao tratamento de efluentes domésticos, uma atenção especial será dada para o modelo de fossa séptica biodigestora desenvolvido pelos pesquisadores da Embrapa Instrumentação

Agropecuária, que se apresenta como a melhor opção para o problema em questão.

Segundo dados da ONU, 4 em cada 10 pessoas no mundo não têm acesso nem a uma simples latrina e defecam a céu aberto; e 2 em cada 10 – cerca de 1 bilhão de pessoas – não têm nenhuma fonte de água potável segura. Resultado: 3.900 crianças morrem no planeta diariamente por falta de saneamento. No caso do Brasil, que reúne 12% de toda a água doce do planeta, 22 milhões de pessoas não têm acesso à água de boa qualidade. Rios, lagos e lençóis subterrâneos são capazes de atender essa necessidade, desde que a própria população não os esgote ou contamine.

Os investimentos públicos para saneamento básico nas comunidades rurais têm aumentado, mas ainda há muito por fazer. Na região urbana brasileira, subiu, de 93% para 96%, a proporção da população que tem acesso a uma fonte de água segura, entre 1990 e 2002. No entanto, na zona rural, o aumento foi apenas de 55% para 58% nos últimos 15 anos.

Ou seja, quase a metade dos moradores do campo não tem água boa para beber. A água contaminada por falta de saneamento mínimo pode gerar uma série de doenças no ser humano, podendo inclusive causar a morte. Inúmeros malefícios à saúde humana são provocados por fezes, urina e outros dejetos que podem ser encontrados no líquido mais precioso para a vida – a água. É pela água consumida em uma fonte contaminada que podem ser contraídas doenças graves, a exemplo da hepatite, do cólera, da salmonelose e outras. Com esse esclarecimento, é possível compreender por que, em muitos lares rurais, os moradores costumam reclamar de dores de barriga, de cabeça e por todo o corpo. Isso pode ser provocado pelos micróbios que contaminam as fontes de água utilizadas para o consumo humano.

Daí que é fácil entender o tamanho do problema: 75% das internações hospitalares no Brasil estão relacionadas à falta de saneamento básico. Para

atender a essa demanda latente é que foi desenvolvido um sistema de fossa séptica biodigestora para tratamento primário de esgoto para pequenas comunidades, baseado nos antigos sistemas biodigestores, que datam de 1919, em Bombaim, Índia. O sistema trata apenas o esgoto do vaso sanitário. Detergentes e sabões das águas de lavagens prejudicam o desenvolvimento dos microrganismos decompositores de matéria orgânica. (Novaes *et al*, 2005).

2.6.1 Funcionamento da fossa séptica biodigestora

O sistema foi projetado tendo em conta uma família composta, em média, por 5 pessoas, e, ao utilizar o vaso sanitário para descarga, utiliza-se aproximadamente 10 L de água; é indicado que se utilize vaso sanitário com descarga acoplada, que utiliza menor volume de água. Isso resulta aproximadamente em 50 L de água/resíduos por dia lançados nas caixas biodigestoras, dando um total de 1500 L/mês, mas pode ser também ampliado para que trate o esgoto de maior número de residências. A partida do sistema é dada pela adição de esterco bovino, que apresenta grande diversidade de microrganismos decompositores que promovem a digestão da matéria orgânica na ausência de oxigênio. O material depositado nas caixas fermenta por aproximadamente 35 dias, período suficiente para uma completa biodigestão (Schoken-Iturrino, 1995), permitindo que o efluente possa ser utilizado como um adubo orgânico em canteiros com plantações a um custo praticamente zero.

O esgoto é canalizado para a primeira caixa, que se ligará a outras duas caixas em série, por tubulação de PVC de 4", com auxílio das conexões curvas longas de 90º no interior das caixas e Te, conectadas externamente a Te de inspeção (desentupimentos)

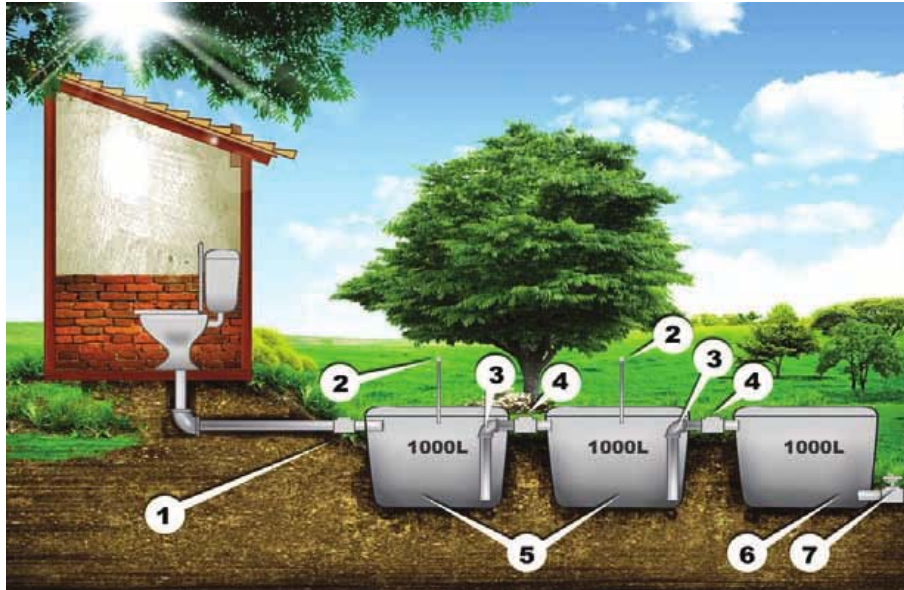


Figura 3 Ilustração representativa da fossa séptica biodigestora
 Fonte Novaes, 2001

Composição do sistema:

- 1 – Válvula de retenção
- 2 – Chaminé de alívio (suspiro)
- 3 – Curva de 90o
- 4 – “T” de inspeção
- 5 e 6 – Caixas de 1.000 ml
- 7 – Registro

Estas caixas representarão os tanques sépticos. Para a partida do sistema, a cada 30 dias a primeira caixa é abastecida com uma mistura de 20 litros de esterco bovino e 20 litros de água (figura 4). As caixas serão vedadas com borracha fixa nas bordas das tampas, e deve ser colocado um sistema de alívio de gases composto por uma peça de conexão CAP de 25 mm de diâmetro, com quatro furos de 2 mm, e ligados à tampa das caixas por meio de flange de 25 mm (Figura 4). O lodo formado na terceira caixa deverá ser retirado periodicamente.



Figura 4 Detalhe do abastecimento da mistura ativadora
Fonte: Novaes, 2001



Figura 5 Ilustração do suspiro
Fonte: Novaes, 2001

A idéia do suspiro (Figura 5) é de servir como escape para os gases gerados (biogás) através da atividade biológica de degradação orgânica. Embora não seja a prioridade desse projeto, este gás poderia ser captado e aproveitado para contribuir com a eficiência energética da casa.

Desde o início desta década, as Fossas Sépticas Biodigestoras estão modificando a qualidade de vida de milhares de famílias que vivem na área rural do País. Em 2003, a experiência ganhou mais divulgação e reconhecimento ao conquistar o Prêmio Fundação Banco do Brasil de Tecnologia Social. O investimento da Fundação foi de 1,8 milhão para a implantação de 1.200 unidades em dez municípios dos estados de Goiás e Minas Gerais, além de cidades do Distrito Federal. Já a Embrapa calcula ter atendido 5.000 famílias em vários pontos do País.

As Fossas Sépticas Biodigestoras são uma excelente alternativa de Saneamento Básico na Área Rural e podem contribuir para o Desenvolvimento Local. Afinal, o sistema biodigestor tem tripla função: previne contra doenças, protege o lençol freático (água do poço) e produz adubo orgânico de qualidade, contribuindo para o desenvolvimento da agricultura orgânica.

2.6.2 Escolha do local

Os moradores devem ajudar a definir a localização das caixas coletoras da fossa séptica biodigestora (Figura 6). O ideal é instalar as unidades perto de janela e do sanitário da casa, já que isso facilita a inspeção e manutenção, pois, uma vez que os cuidados mínimos indicados não forem dados, poderão surgir problemas, como mau cheiro, que indica que alguma coisa não está funcionando bem; Além disso, contribui com a economia nos materiais. O local escolhido deve ter as seguintes características:

- a) deve ser seco;
- b) ficar um pouco abaixo do nível do sanitário, no mínimo, 40 cm;
- c) distante de cursos de água ou do lençol freático;
- d) preferencialmente, têm que ser instaladas perto do sanitário e próximas das janela das casas;
- e) as tampas das caixas devem ficar expostas ao Sol para facilitar o processo de biodigestão.

Para a coleta do biofertilizante pelo registro, o sistema deve apresentar desnível de 50 cm do topo da primeira caixa ao pé da última caixa. Não havendo desnível, a coleta deve ser feita com balde, pela tampa da última caixa.



Figura 6 Ilustração da instalação do sistema
Fonte: Novaes, 2001

2.6.3 Materiais necessários e estimativa de custo

Quadro 1 Quantificação dos materiais necessários

Item	Quantidade	Unidade	Descrição	Preço unitário	Preço total
1	3	peça	Caixa d'agua fibra de vidro de 1000 L	R\$ 250,19	R\$ 750,58
2	6	metro	Tubo de PVC 100mm para esgoto	R\$ 5,09	R\$ 30,57
3	1	peça	Válvula de retenção de PVC 100mm	R\$ 58,01	R\$ 58,01
4	2	peça	Curva 90 longa de PVC	R\$ 10,23	R\$ 20,46
5	3	peça	Luva de PVC 100mm	R\$ 2,76	R\$ 8,28
6	2	peça	Tê de inspeção de PVC 100mm	R\$ 20,14	R\$ 40,28
7	10	peça	O'ring 100mm	R\$ 1,32	R\$ 13,20
8	2	metro	Tubo de PVC soldável 25mm	R\$ 1,60	R\$ 3,20
9	2	peça	Cap de PVC soldável 25mm	R\$ 0,95	R\$ 1,90
10	2	peça	Flange de PVC soldável 25mm	R\$ 2,66	R\$ 5,32
11	1	peça	Flange de PVC soldável 50mm	R\$ 8,17	R\$ 8,17
12	1	metro	Tubo de PVC soldável 50mm	R\$ 6,03	R\$ 6,03
13	1	peça	Registro de esfera de PVC 50mm	R\$ 35,42	R\$ 35,42
14	2	tubo	Cola de silicone de 300g	R\$ 13,70	R\$ 27,40
15	25	peça	Borracha de vedação 15x15mm	R\$ 0,54	R\$ 13,50
16	1	tubo	Pasta lubrificante para juntas elásticas em PVC rígido – 400g	R\$ 13,00	R\$ 13,00
17	1	tubo	Adesivo para PVC – 100g	R\$ 5,56	R\$ 5,56
18	1	litro	Neutrol	R\$ 17,10	R\$ 17,10
TOTAL					R\$ 1.057,98



Figura 7 Ilustração dos materiais necessários
Fonte: Novaes, 2001

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste projeto foi empregada a pesquisa em livros e arquivos, fotos e muita procura em bibliotecas que contenham acervos sobre o assunto, leitura de artigos e reportagens em sites especializados no assunto, bem como também bibliografia-documental. A pesquisa bibliográfica focalizou sua atenção em artigos, cartilhas, livros, revistas, jornais e manuais que abordassem questões e soluções práticas aplicáveis para o problema em questão, que focassem a questão da degradação do meio-ambiente, principalmente da contaminação do solo e recursos hídricos, e que apresentassem alternativas para a problemática.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a pesquisa, foram alcançados bons resultados para os objetivos esperados. Como o enfoque era o tratamento de efluentes domésticos em pequena escala, chegou-se a resultados que apontam a fossa séptica biodigestora (modelo desenvolvido pela Embrapa) como um sistema de boas características para esta finalidade, com elevada capacidade de tratar e digerir a matéria orgânica crua, transformando-a em um resíduo final praticamente inócuo e com desejáveis qualidades para o uso como um fertilizante agrícola. Uma abordagem mais detalhada de cada tópico é o que se segue no decorrer deste capítulo.

4.1 Análise bacteriológica e patogênica do efluente final

Os coliformes totais/fecais atuam como indicadores de qualidade de águas, sendo expressos em densidade, ou seja, como o "número mais provável (NMP) em cada 100 mL". Para realizar estas análises microbiológicas do efluente, mensalmente técnicos e pesquisadores da Embrapa retiravam amostras na 3ª caixa e realizavam a contagem dos coliformes totais e fecais através da técnica de fermentação em tubos múltiplos, também chamada técnica do Número Mais Provável (NMP/100 mL) (Cetesb,1997). Estas análises revelaram que o número de coliformes totais foi de 1100/100 mL em todas as análises. Quanto aos fecais, foi de 3/100 mL nos dois primeiros meses e ausente nos subsequentes. É importante ressaltar que, para comprovar a eficiência desse sistema de biodigestão na eliminação dos agentes patogênicos, foi colocado propositalmente esse agente na 1ª caixa após a segunda análise e monitorado a 3ª. caixa, porém em nenhuma análise eles foram detectados. A Resolução CONAMA – Numero 20, de 18 de junho de 1986, publicada no D.O.U. de 30/07/1986, estabelece que, para águas de classe 2 (utilizada para irrigação de

hortaliças e plantas frutíferas), a concentração de coliformes fecais não deve exceder o limite de 1000/100 mL. Tendo em mãos essa resolução e os resultados aqui apresentados, observa-se que esse sistema de biodigestão foi eficiente na eliminação de agentes patogênicos que poderiam contaminar as águas subterrâneas e superficiais (Novaes *et al.* (2005).

Sob este aspecto, o desenvolvimento de um programa de fossas sépticas biodigestora também representa um recurso eficiente para tratar os excrementos e melhorar a higiene e o padrão sanitário do meio rural. “O lançamento de dejetos humanos e animais num digestor de biogás soluciona o problema de dar fins aos ovos dos esquistossomos e ancilóstomos, bem como de bactérias, bacilos disentéricos e paratíficos e de outros parasitas. O número de ovos de parasitas encontrados no efluente diminui em 99%, após a fermentação”. (USP, 2001).

Ainda acerca do assunto de descontaminação do efluente tratado, Reis (1991, p. 2) lembra que "mais de cem milhões de chineses, com seus biodigestores caseiros, conseguem [...] manter o meio ambiente livre de verminoses, esquistossomoses, hepatites e doenças entéricas". Fato também confirmado por Nascimento (1999), que cita um projeto envolvendo tratamento de dejetos humanos por biodigestores que eliminou as verminoses de uma comunidade chinesa: "Em Lichi foi adotado um biodigestor para todo o esgoto sanitário de uma comunidade, e identificadas e eliminadas, previamente, as verminoses predominantes na mesma. Após três anos da implantação do projeto, foi verificado êxito total". O autor informa, também, que através de exames feitos em todos os integrantes da comunidade "ficou comprovado não haver se repetido nenhum caso de verminose" (Nascimento, 1999, p. 3). Novaes (2012) também chegou a resultados semelhantes ao analisar o efluente final de um biodigestor chegando "a uma redução bastante expressiva quanto às taxas de DQO e DBO de aproximadamente 97 e 96%, respectivamente, assim como o *E.*

coli que apresentou uma redução de 99,9999% muito significativa do ponto de vista de redução de patógenos, porém ainda não alcançando um valor absoluto adequado para lançamento direto em corpos d'água(Conama 2005)".

Estes fatos corroboram a segurança patogênica do processo e trazem luz para "novas" alternativas ao tratamento dos efluentes, seja em escala familiar ou em escala municipal. Neste último, cabe ressaltar ainda o potencial de geração e aproveitamento energético do processo.

4.2 Efeitos do uso e análise do biofertilizante

O efluente final chamado de biofertilizante, resultante do processo de fermentação anaeróbia, é fator de agregação de valor às propriedades rurais, contanto que os produtos da ação do biodigestor (biogás, biofertilizante) sejam realmente utilizados em conformidade com outras atividades rurais, trabalhando em agroecossistemas integrados em que as saídas (*output*) de uma atividade são utilizadas como entrada (*input*) de outra, dentro dos preceitos da agroecologia, visando o aproveitamento total da matéria-prima, geração de emprego e renda e o desenvolvimento sustentável.

Conforme Fornari (2002), o biofertilizante possui teores de nutrientes iguais e até maiores que o do material original. A fermentação anaeróbia faz com que haja menos perda de nutrientes, principalmente o N, cujo teor médio total é de 0,7%; o de P é de 0,5% e o de K, 0,7%. Seu pH (médio) é de 6,9 e a relação C/N (média) é de 11/1; isso tudo depende do material que for utilizado. São usados como adubos em cultivos de culturas e pastagens. O biofertilizante é um líquido rico em matéria orgânica e pode ser usado como adubo no solo, enriquecendo-o. Uma das principais vantagens do uso de biofertilizantes na agricultura é o baixo custo. Estes não geram problemas quanto à acidez e degradação do solo, como ocorre com o uso de fertilizantes de origem química.

Já o estudo realizado em 2012 pela Embrapa Instrumentação Agropecuária aponta que o biofertilizante apresenta uma série de substâncias que podem alterar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, afetando, em geral, o desenvolvimento das plantas (Melo, 1994) e, além disso, os constituintes desses efluentes são produtos que podem aumentar a fertilidade dos solos por conterem nutrientes essenciais às plantas, em virtude da MO que lhe é adicionada, com a conseqüente formação de húmus (Firme, 2007). Mais detalhes do estudo com relação à composição do biofertilizante segue nas tabelas 6 e 7. Sendo o ponto 1 correspondente ao afluente, e o ponto 5 ao efluente já tratado. O ponto 5 foi dividido em duas amostragens: 5a – tubo de saída do efluente do biodigestor e 5b, tanque receptor.

Tabela 6 Resultado representativo das análises físico-químicas e microbiológicas do efluente na entrada e saída do biodigestor (análise realizada em março de 2009)

Elemento*	Valores (mg L ⁻¹)		
	Média	Mínimo	Máximo
N	298	226	390
P	50,60	38,6	70,96
K	116,64	90,53	164,20
Ca	76,11	62,95	97,86
Mg	29,63	24,75	37,58
S	3,78	2,46	5,51
Cu	0,08	0,03	0,14
Fe	1,01	0,48	1,67
Mn	0,32	0,26	0,40
Zn	0,22	0,11	0,36
Sr	0,43	0,31	0,61
V	0,10	0,01	0,24
Na	117,06	81,30	161,67
Ba	0,30	0,05	0,85
Al	0,54	0,35	0,78

*Nitrogênio determinado por método Kjeldhal. Outros elementos por ICP-OES.

Tabela 7 Elementos de interesse presentes no efluente tratado (ponto 5). Os valores correspondem a 5 coletas diferentes

	Ponto 1	Ponto 5a	Ponto 5b
pH	6,0	7,0	7,3
Demanda química de oxigênio (mg O ₂ L ⁻¹)	13160	366	296
Demanda bioquímica de oxigênio (mg O ₂ L ⁻¹)	8594	209	186
Nitrogênio nitrato (mg L ⁻¹)	19,17	1,63	1,65
Nitrogênio nitrito (mg L ⁻¹)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Nitrogênio amoniacal (mg L ⁻¹)	337	443	402
Nitrogênio Kjeldhal (mg L ⁻¹)	1067	619	694
Fosfato total (mg L ⁻¹)	208	83	61
Óleos e graxas (mg L ⁻¹)	394	72	76
Coliformes totais (UFC*/100 mL)	5,7 10 ¹²	4,7 10 ⁸	2,3 10 ⁸
<i>E. coli</i> (UFC*/100 mL)	2,1 10 ¹⁰	1,0 10 ⁶	2,0 10 ⁵
Sólidos sedimentáveis (mg L ⁻¹)	120,0	0,7	7,0
Sólidos suspensos totais (mg L ⁻¹)	8335	144	214
Sólidos suspensos fixos (mg L ⁻¹)	1968	16	98
Sólidos suspensos voláteis (mg L ⁻¹)	6367	128	116

Os pesquisadores complementam: "pelos resultados apresentados, pode-se observar que os valores de concentração dos elementos variam significativamente, podendo o valor máximo para alguns elementos ser superior ao dobro do valor mínimo. Este fato dificulta a aplicação do efluente como fertilizante, já que torna difícil uma dosagem precisa do elemento nutriente. Outro ponto que deve ser destacado é a presença de sódio em concentração que merece atenção. O uso intensivo de águas contendo grande quantidade de sódio pode levar à salinização do solo, onde coloides orgânicos e inorgânicos podem ser desestabilizados, diminuindo a fertilidade desse (Almeida, 2009). A presença de concentrações significativas de sais de potássio pode também ser danosa,

entretanto, seu efeito no solo é minimizado por ser um nutriente facilmente absorvido pelas plantas. Fica claro que o uso do efluente tratado pelo biodigestor deve ser utilizado de forma controlada, para que se evite algum tipo de impacto negativo no solo".

E Novaes (2012) conclui: "o efluente tratado possui características muito interessantes em termos de fertilidade. A confirmação pode ser observada pela formação de vários elementos solúveis que são nutrientes para as plantas, com ênfase no nitrogênio em sua forma amoniacal e no fósforo, além de uma série de outros micronutrientes".

Em trabalho realizado sobre o solo da Fazenda Belo Horizonte em Jaboticabal/SP (local pioneiro de implantação do sistema), observou-se também os efeitos da aplicação do biofertilizante, aqui denominado adubo orgânico. Na tabela 8 estão os resultados da análise de fertilidade, para adubação química (NPK) e adubação orgânica.

Tabela 8 Resultados da análise química de rotina, para determinação da fertilidade do solo após a aplicação de adubação NPK e do efluente do biodigestor nos perfis do solo de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm

Adubação (prof. /cm)	pH		V %	M.O g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	mmol dm ⁻³			CTC	S
	H ₂ O	CaCl ₂							H	Al	Al ³⁺		
NPK (0-10)	5,9	5,5	76	10	93	11,3	29	9	19	0	79	6,0	
Orgânica (0-10)	6,3	5,5	69	15	177	6,5	31	11	22	0	71	4,9	
NPK (10-20)	5,5	4,7	52	7	16	4,5	20	5	27	4	67	2,9	
Orgânica (10-20)	5,1	4,5	59	7	16	5,5	20	5	27	4	64	3,8	

Fonte: Novaes *et al*(2005)

A aplicação do efluente obtido da fossa biodigestora, levou a um aumento do conteúdo de matéria orgânica, de P extraível e da acidez potencial na primeira camada amostrada, o que era esperado, visto que se trata de um material orgânico provavelmente rico em P e em grupos ácidos. Por outro lado, provocou uma aparente lixiviação de K^+ e Ca^{2+} para a camada de 10-20 cm, provavelmente pela adição de ácidos orgânicos de baixa massa molar e alta mobilidade no solo permitindo a mobilização destes nutrientes (Franchini et al., 1999).

O conteúdo inicial de matéria orgânica era baixo, o que possibilitou o significativo aumento do seu conteúdo com a aplicação deste resíduo orgânico. Outro fato a se destacar são os elevados teores de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e P (segundo níveis de interpretação de resultados de análise de solo: IAC (1997)), o que pode estar acarretando um desequilíbrio nutricional, induzindo a deficiência de micronutrientes, provavelmente Zn^{2+} , visto que o antagonismo P x Zn^{2+} , quer seja no solo (Tisdale et al., 1993) ou na planta (Marschener, 1986; Mengel & Kirkby, 1987), é bem conhecido e documentado. Assim, provavelmente, esteja ocorrendo uma deficiência de Zn^{2+} e/ou de outros micronutrientes na área tratada com adubação química e a aplicação do composto do biodigestor pode estar minimizando esta deficiência por ser uma fonte de micronutrientes ou por estar aumentando a disponibilidade destes pela adição de compostos orgânicos. Este fato pode explicar a melhora visual das plantas (figura 8) tratadas com este composto. Para confirmar esse fato, foi realizada análise para determinação de macro e micronutrientes no tecido vegetal, ou seja, análise foliar. Para coleta seguiu-se o procedimento descrito por Nogueira (1998), onde as folhas com cor amarelada foram descartadas. Os resultados são mostrados na tabela 9.

Tabela 9 Resultados da análise foliar após a aplicação de adubação NPK e do efluente do biodigestor

Cultura (Adubação)	N g/kg	Ca g/Kg	Mg g/Kg	P g/kg	K g/kg	S g/kg	Cu mg/kg	Fe mg/Kg	Mn mg/Kg	Zn mg/Kg
Graviola (NPK)	20.63	15.95	3.20	1.17	13.55	1.07	123.1 1	118.97	58.80	10.83
Graviola (Orgânica)	16.33	27.90	3.70	1.24	9.27	1.04	144.6 0	169.24	65.49	10.63



Figura 8 Fotos de pés de graviola. a) Aplicação de adubação química e b) aplicação do efluente do biodigestor.

Fonte: Novaes (2005)

Aqui, constata-se que, quando aplicado o biofertilizante houve um aumento para os macronutrientes Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Fósforo (P) e um decréscimo para Nitrogênio (N) e Potássio (K), sendo que para o Enxofre (S) praticamente não houve variação. Para os micronutrientes também observou-se variações, ocorrendo acréscimo para a concentração de Ferro (Fe), Cobre (Cu) e Manganês (Mn), sendo que para o Zinco (Zn) o valor foi muito similar entre os dois tipos de adubação. Quando da análise da fertilidade do solo (ver tabela 10), não estava claro que o efluente poderia ser uma fonte de micronutrientes e isso explicaria a melhora no aspecto visual da planta (figura 8). A análise foliar aqui apresentada esclareceu tal indagação, demonstrando que o efluente é uma fonte de micronutrientes e, devido ao fato de que o solo está carente desses tipos de nutrientes, a aplicação do biofertilizante foi ainda mais eficiente.

Foi feita também a análise de nitrogênio na forma mineral, comparando os valores obtidos entre os dois tipos de adubação. O N é um dos mais caros macronutrientes, o mais instável no solo e considerado como o principal limitador da produção agrícola, sendo absorvido pelas plantas na forma de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+). Esse macronutriente regula a velocidade de decomposição e a atividade microbiana; se a matéria orgânica contiver menos de 1,2% de N, conseqüentemente uma relação C/N alta, pode-se esperar que a imobilização do N mineral do solo será maior que a mineralização do C, e o processo de decomposição será lento. Nesse caso, os micro-organismos usam o NO_3^- ou o NH_4^+ do solo para formar proteínas; e com isso a produção de húmus será menor. As análises realizadas mostraram (tabela 10) que, quando aplicado o efluente do biodigestor, houve um aumento de aproximadamente 17% na concentração de NH_4^+ no perfil de 0 a 10 cm e 9% entre 10 e 20 cm. O aumento para o NO_3^- foi de 23% de 0 a 10 cm e de 15% entre 10 e 20 cm.

Tabela 10 Resultados da análise química de rotina, após a aplicação de adubação NPK e do efluente do biodigestor, nos perfis do solo de 0 a 10 e 10 a 20 cm

Amostra	$N - NH_4^+$	$N - NO_3^-$
Adubação Química 0-10 cm	16,24	9,80
Biodigestor 0-10 cm	19,04	12,04
Adubação Química 10-20 cm	15,68	9,24
Biodigestor 10-20 cm	17,08	10,64

Fonte: Novaes (2005)

É importante ressaltar que o N em altas concentrações pode trazer prejuízos, tanto para as plantas, quanto para o ser humano, já que quando o NO_3^- é absorvido em grande quantidade e a planta não consegue metabolizá-lo totalmente (para incorporá-lo a compostos orgânicos formando aminoácidos, proteínas e outros compostos nitrogenados), ficando acumulado nos tecidos. Quando essas plantas são ingeridas pelo ser humano, no trato digestivo pode ser reduzido a nitrito (NO_2^-), que entrando na corrente sanguínea oxida o ferro ($Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3}$) da hemoglobina, produzindo a metahemoglobina. Esta forma de hemoglobina é incapaz de transportar o O_2 para a respiração normal das células dos tecidos causando a chamada metahemoglobinemia. Outro problema é que parte do nitrito pode acabar combinando com as aminas formando nitrosaminas, as quais são cancerígenas e mutagênicas (http://www.labhidro.cca.ufsc.br/mito_nitrato.htm). Contudo, a melhora no aspecto das plantas onde foi conduzido o experimento é visual (figura 8), quando, da aplicação do adubo orgânico, observou-se maior quantidade de folhas com aspecto saudável, enquanto que para a adubação química há menor quantidade de folhas e as existentes estão amareladas com aspecto de planta

doentia. Também observou-se melhoras significativas em outras culturas como couve, brócolis e noz macadâmia. É importante ressaltar que essa diferença no aspecto das plantas foi observada na grande maioria das plantas, cujas condições (temperatura, umidade, etc.) a que foram expostas foram similares, exceto pelo tipo de adubação, e que os efeitos sobre o solo e conseqüentemente sobre as plantas podem ser distintos, dependendo do tipo de solo e suas necessidades nutricionais.

Estas pesquisas apontam um importante valor dos biofertilizantes. Além do poder de fertilizante químico e biológico, ele atua também como um importante mecanismo de ciclagem de nutrientes dentro da propriedade rural, devolvendo aos solos os importantes componentes que tanto precisa e que foram extraídos após a colheita das culturas.

4.3 Análise econômica do biofertilizante e da viabilidade do projeto da fossa séptica biodigestora

Conforme apontado no quadro 1, o projeto tem uma estimativa de custo de material no valor de R\$1.057,98 (preço médio com pagamento à vista em pesquisa realizada em lojas do ramo no município de Matinhos-PR), contando ainda que neste orçamento não foi contabilizada a mão de obra, este valor pode subir para aproximadamente R\$ 1600,00 (preço médio de um pedreiro mais dois ajudantes trabalhando por 3 dias). Este montante total pode tornar inviável para um pequeno agricultor sua construção, porém há caminhos que se podem percorrer para viabilizar este tipo de projeto. Um deles é através da associação local dos produtores (caso exista) e com crédito do PRONAF (Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar), o primeiro atuando como instrumento de compra coletiva, reduzindo custos, e o 2º como agente financiador, com empréstimos a taxas baixas de juros e períodos de carência de três anos.

Pesquisa realizada pela Ecooideia – Cooperativa de Serviços e Ideias Ambientais, no assentamento Che Guevara, em Cristalina, Goiás, aponta que o biofertilizante produzido pelas Fossas Sépticas Biodigestoras gerou “acréscimo de renda” de 75% das famílias beneficiadas devido ao uso do adubo. Isso foi resultado da substituição da compra de adubos químicos, com uma economia mensal entre R\$ 30 e R\$ 90. Nesse assentamento, 51% das famílias assentadas utilizam o biofertilizante no solo de pomares e 52% o empregam em hortaliças. Esse produto substitui a adubação química, poupando despesas com a aquisição de insumos industrializados. Além disso, os pomares adubados com o produto apresentaram alta produtividade. Segundo relatório da Ecooideia, o biofertilizante apresentou essas vantagens quando aplicado nos pomares do assentamento Che Guevara, que “exibem claramente aumento de produtividade e de vigor das plantas”.

Este “aumento da renda”, ou melhor, esta economia mensal na grandeza que foi expressada pela pesquisa da Ecooideia, aponta um outro caminho que pode tornar viável a construção deste modelo de fossa. O sistema se auto-paga. Contando com uma média de economia de R\$ 60,00 ao mês com a compra de insumos, o investimento de R\$1.060,00 com a compra de materiais (já que a mão de obra ele pode economizar fazendo ele mesmo) levaria 18 meses para poder se pagar, tempo que é menor que o prazo de carência do empréstimo pelo PRONAF, o que leva a crer que é um projeto viável e desejável. Como visto, o projeto se paga com 1 ano e meio e elimina eventuais problemas sanitários que poderiam acarretar sérias doenças na família.

4.4 Considerações finais sob o projeto da fossa séptica biodigestora

Dentre os diversos modelos de biodigestores, o que tem se saído mais eficiente para tratar efluentes domésticos é o desenvolvido pela Embrapa

Instrumentação, chamado de fossa séptica biodigestora. A FSB (Fossa séptica biodigestora) apresenta as seguintes vantagens: configuração simples; câmaras que possibilitam maior contato entre microrganismos e substratos; baixo custo de construção; não há necessidade de equipamentos como agitadores; pequenas profundidades para o reator (caixa d'água); não há necessidade de dispositivos de separação gás/líquido/sólido; em virtude de sua configuração, o arraste de microrganismos é reduzido sendo favorecida a formação de grânulos; possuem tempo de retenção relativamente baixo; podem ser operados durante longos períodos de tempo sem descarte do lodo; suportam dejetos com altas e baixas concentrações de DBO; elevado volume útil; sem consumo de energia elétrica; não utilização de equipamentos onerosos; e possibilidade de operação intermitente (CHERNICHARO, 2000; BARBER & STUCKEY, 1999; ZANELLA 1999). Porém, por outro lado, apresenta as seguintes desvantagens segundo os mesmos autores: produção de efluente com baixa qualidade visual; possibilidade de produção de odores; necessidade de pós-tratamento; partida lenta; efluente com baixa quantidade de oxigênio dissolvido; remoção insatisfatória de nitrogênio, fósforo e organismos patogênicos. Estas desvantagens são inerentes ao próprio processo anaeróbio e não representam um problema, pois o efluente final não será descartado em corpos d'água, mas usado com fertilizante agrícola.

Este modelo de biodigestor, adaptado para a função ao qual se destina, tem obtido excelentes resultados pelo Brasil afora. O projeto piloto começou em Jaboticabal/SP e pelas suas características se espalhou para outros estados do Brasil, se apresentando como uma excelente opção para o tratamento de esgoto doméstico em várias regiões do Brasil.

Um ponto a ser considerado na instalação de novas unidades é a demanda de manejo, que embora seja simples e pouco, deve sempre ser lembrado, pois a negligência deste pode levar o sistema a um funcionamento precário ou inapropriado.

Outro ponto que pode ser incrementado no projeto é a utilização do biogás, embora isso possa aumentar a demanda por manutenção e manejo, com instalação de sistemas que armazenem de forma segura este gás e que possa ser utilizado como complemento em aparelhos domésticos, como o fogão. Este tipo de inovação, se constatada a viabilidade, seria de grande valor, contribuindo a sustentabilidade energética da casa e também incrementando na economia financeira do projeto.

5 CONCLUSÕES

Devido ao relativo baixo custo para confecção do sistema, a eficiência demonstrada na biodigestão dos excrementos humanos e consequente eliminação de agentes patogênicos, esse modelo de fossa séptica pode ser indicado para substituir a tradicional “fossa negra” e a fossa séptica tradicional, normalmente utilizada na área rural, e que é a principal responsável pela contaminação das águas subterrâneas, que abastecem os “poços caipiras”. Quanto à reutilização do efluente, o mesmo mostrou-se ser uma fonte de macro e micronutrientes para as plantas, além de matéria orgânica para o solo. Esta forma alternativa de tratamento de efluentes domésticos apresenta características muito positivas com relação à alta capacidade de reprodutibilidade do projeto, com empoderamento social (já que os próprios beneficiários podem se apoderar dessa tecnologia, desde a construção até o manejo e o aproveitamento dos seus produtos) gerando desenvolvimento sustentável nas comunidades envolvidas com consequentes incrementos na renda. A utilização do biogás no modelo da fossa séptica biodigestora, embora não muito abordada, é um campo a ser explorado.

Cabe ao governo gerar políticas públicas e programas que estimulem e favoreçam a implementação desse tipo de tecnologia em áreas desprovidas de saneamento básico, com possíveis abonos fiscais para famílias que a adotam e que abracem as práticas agroecológicas.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, J. Biogás: energia do meio rural para o meio rural. Coronel Pacheco: EMBRAPA-CNPGL, 1980, 11f.

ALMEIDA, T. L.; Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Brasil, 2009.

ALVES, S.M.; MELO, C.F.M.; PRAKASAN, K. Produção e utilização de biogás a partir do esterco de bubalinos, Belém: EMBRAPA-CPATU, 1983.

AVELLAR, Luís Henrique Nobre; CARROCCI, Luiz Roberto; SILVEIRA, José Luiz. Biogás na co-produção: a utilização de subprodutos agro-industriais na geração de energia em unidades co-geradoras. Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento. Novas Tecnologias. 2002.

BARBER, W. P.; STUCKEY, D. C., The Use of Anaerobic Baffled Reactor (ABR) for wastewater Treatment: A Review. Water Research. v. 33, n. 7. p.1559 – 1578, 1999.

BARRERA, Paulo, Biodigestores - Energia, Fertilidade e Saneamento Para Zona Rural – São Paulo – Ícone, 1993.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. Princípios do tratamento Biológico de águas Residuárias: Reatores Anaeróbios. Belo Horizonte: UFMG, 1997.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA; Resolução n. 357, de 17/3/2005.

COSTA, Alfredo Ribeiro da; SILVA, Nazareno Ferreira da; GOMES, Francisco Plínio Barrôzo. Biodigestor. Goiânia: Editora da Universidade Católica de Goiás, 1985. Série Cadernos de Pesquisa.

EMBRAPA, www.cnpsa.embrapa.br acessado em 02/02/2013.

ECOOIDEIA, www.ecooideia.org.br/home/ acessado em 02/02/2013

ESTIMATIVA de concentração de bactérias a partir dos resultados da técnica dos tubos múltiplos: água, qualidade padrão, potabilidade e poluição. [S.l.]: CETESB, 1997.

FERRAZ, J.M.G.; MARIEL, I.E. Biogás: Fonte alternativa de energia. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1980. 27p.

FIRME, P. F.; Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Brasil, 2007.

FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MALAVOLTA, E. Dynamic of ions in acid soil leached with green manure residues extracts and pure solutions of organic acids. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 34, n. 12, p. 2267-2276, 1999.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO de MINAS GERAIS/CETEC. Manual de construção e operação de biodigestores. Minas Gerais: Ed. do CETEC, 1982.

GASPAR LEME, Rita Maria. Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-P. Tese de mestrado. UFSC 2003

IAC. Programa de Controle de Qualidade de Laboratórios com o Sistema IAC de Análise de Solos. Análise do solo: unidades de interpretação. [Campinas], 1997. 1 folder.

IBGE. Censo agropecuário. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/agri_familiar_2006/default.shtm Acesso em 04/02/2013.

LANGER, Marcelo; BARBOSA, George. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental . Editora UNOESC.

MELO, W. J.; Marques, M. O.; Santiago, G.; Chelli, R. A.; Leite, S. A. S.; Rev. Bras. Ciênc. Solo 1994, 18, 449.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. Biodigestão: a alternativa energética. São Paulo: Nobel, 1986.

NOVAES, Antonio Pereira; LOPES, Wilson Tadeu. Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbio para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola. Artigo. Embrapa Instrumentação agrícola. 2012

NOVAES, Antonio Pereira; SIMÕES, Marcelo Luiz; NETO, Ladislau Martin. Utilização de uma fossa séptica biodigestora para melhoria do Saneamento Rural e desenvolvimento da Agricultura Orgânica . Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2005

REIS, Antônio Junqueira. Potencial energético e fertilizante do lixo. Folha de São Paulo, 12 nov. 1991. Caderno Regional – Nordeste.

SEIXAS, Jorge et al. Construção e funcionamento de biodigestores. Brasília: EMBRAPA - DID, 1980. EMBRAPA-CPAC. Circular técnica, 4.

SGANZERLA, Edílio. Biodigestores: uma solução. Porto Alegre. Agropecuária, 1983.

SILVA, Aécio Moura da. Microposto de piscicultura acoplado a biodigestor. Brasília: IpqM Instituto de Pesquisas da Marinha, 1981. Programa de Desenvolvimento de Comunidades Rurais Prodecor. Fundo Federal Agropecuário – FFAP.

SCHOKEN-ITURRINO, R. P.; BENINCASA, M.; LUCAS JUNIOR, J.; FELIS, S. D. Biodigestores contínuos: isolamento de bactérias patogênicas no efluente. Engenharia Agrícola, Campinas, v. 15, p. 105-108, 1995.

USP. Biodigestor. Centro de Divulgação Científica da Universidade de São Paulo. Clube da Física. Disponível em: <<http://www.cdcc.sc.usp.br>>. Acesso em 02/02/2013.

ZANELLA, L., Partida de um reator Compartimentado Híbrido Anaeróbio/Aeróbio Tratando Esgoto Sanitário. Dissertação (Mestrado) – Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 1999. 118 p.