



# INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

"KEY ELEMENTS FOR A SUSTAINABLE WORLD: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE"

## Princípios de Termoelétricas em Pequenas Propriedades Rurais

L. L. Silva <sup>a</sup>, M. S. Alves <sup>b</sup>, V. C. Silva <sup>c</sup>, A. L. Rocha <sup>d</sup>

a. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas, Alagoas, [lucivaniahta@gmail.com](mailto:lucivaniahta@gmail.com)

b. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas, Alagoas, [silvania.ket@gmail.com](mailto:silvania.ket@gmail.com)

c. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas, Alagoas, [vivianecostadasilva.c@gmail.com](mailto:vivianecostadasilva.c@gmail.com)

d. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Alagoas, Alagoas, [andreleiterocha@gmail.com](mailto:andreleiterocha@gmail.com)

---

### Resumo

Entre os diversos tipos de energias renováveis, a biomassa se destaca como sendo energia química com alta densidade energética e pela facilidade de armazenamento conversão e transporte. Os resíduos que constituem a biomassa são provenientes da degradação biológica anaeróbia da matéria orgânica, e são constituídos por uma mistura de metano e gás carbônico, onde esses materiais são submetidos à combustão através do biodigestor para a produção de biogás. O biodigestor é um aparelho destinado a conter a biomassa e seu produto: o biogás. Existem vários tipos de biodigestor, geralmente são compostos de duas partes: um tanque para abrigar e permitir a digestão da biomassa, e o gasômetro, para armazenar o biogás. O biogás é uma mistura do metano, 65% do volume, e de outros gases em menor quantidade que representam os 35% restantes. Comparativamente, um metro cúbico de biogás equivale a: 0,613 litros de gasolina; 0,553 litros de óleo diesel; 0,454 litros de gás de cozinha; 1,536 quilos de lenha; 0,790 litros de álcool hidratado; 1,428 w de eletricidade. A criatividade permite a multiplicação do uso do biogás em uma propriedade agrícola, bastando, para isso, que o produtor dimensione a capacidade de geração de seu biodigestor. Portanto, esse pode transforma-se num fator de verdadeira independência energética. A parte experimental do trabalho trata-se da produção de biogás através do esterco bovino, tendo na primeira etapa bons resultados, no entanto, cabendo ainda alguns ajustes para atingirmos o objetivo principal que é a produção de energia elétrica através desse gás. Esse gás é utilizado como combustível para um fogão que após sua queima aquecerá a água gerando assim uma determinada pressão, esse vapor será conduzido até um simulador de turbina que está ligado ao gerador produzindo assim a energia suficiente para atender o consumo e principalmente com o aproveitamento das fontes de energia disponíveis, o que possibilita soluções limpas e ambientalmente corretas para geração de energia e baixo custo financeiro.

*Palavras-Chave: biomassa, biodigestor, biogás e geração de eletricidade.*

---

## 1 Introdução

Uma das grandes discursões da atualidade em âmbito tecnológico, gira em torno das fontes alternativas de energias, uma vez que a energia elétrica é considerada a maior de todas as inovações tecnológicas produzidas pelo homem, sem ela não seria possível presenciar o enorme desenvolvimento em diversas áreas do conhecimento humano. A eletricidade gerada de várias formas, mas, é sempre resultado da transformação de outros tipos de energia.

Algumas formas de energias que consumimos são renováveis, nas quais se incluem a energia solar, eólica, hídrica e a da biomassa, entre estes tipos de energia, esta última pode ser constantemente renovada, mas, há outras fontes que não são renováveis, como a energia dos combustíveis fósseis, que levam milhões de anos para se formarem e não podem ser produzidas de um dia para o outro.

A utilização das energias renováveis em substituição aos combustíveis fósseis é uma direção viável e vantajosa, pois, além de serem praticamente inesgotáveis apresenta num baixo impacto ambiental ou quase nulo, sem afetar o balanço térmico ou composição atmosférica do planeta. Graças aos diversos tipos de manifestações, disponibilidade de larga abrangência geográfica e variadas possibilidades de conversão, as renováveis são bastante próprias para geração distribuída e autônoma.

O desenvolvimento das tecnologias para o aproveitamento das energias renováveis poderá beneficiar comunidades rurais e regiões afastadas bem como a produção agrícola através da autonomia energética e conseqüente melhoria global da qualidade de vida dos habitantes. Certamente diminuiria o êxodo rural e a má distribuição de renda.

## 2 Energia Renováveis ao Longo da História

A energia tem sido através da história a base de desenvolvimento das civilizações. No final do século XIX o mundo abriu as portas para a modernidade pós Revolução Industrial, exatamente em função das novas fontes de energia.

Deste modo, a energia elétrica pode ser considerada a maior de todas as inovações tecnológicas produzidas pelo o homem, e sem ela não seria possível presenciar o enorme desenvolvimento em diversas áreas do conhecimento humano. Nos dias atuais, são cada vez maiores as necessidades energéticas para a produção de alimentos, bens de consumo, bens de serviço e de produção, lazer, e finalmente para promover o desenvolvimento econômico, social e cultural.

Lucci (1997; p. 105) considera que há uma interdependência entre o desenvolvimento das fontes de energia e a conseqüente evolução industrial uma vez que o progresso industrial resulta das novas descobertas de fontes energéticas. Assim, as necessidades energéticas de um país estão intimamente ligadas ao grau de industrialização e como esse exige recursos energéticos freqüentemente, para suprir suas necessidades é necessária à utilização de diversas fontes de energias.

Essas fontes costumam ser classificadas em dois tipos: renováveis, ou seja, aquelas que podem ser repostas pela natureza em períodos curtos de tempo, e as não renováveis, fontes cujas reservas diminuem se utilizadas, e cuja reposição na natureza pode levar milhões de anos, ou simplesmente, não acontecer mais. Entre as renováveis, destacamos a hidráulica, grande responsável pela produção de energia elétrica no Brasil, e entre as não renováveis, o petróleo, cujos derivados são constantes em nosso dia-a-dia.

As fontes de energias não renováveis têm reservas finitas, uma vez que é necessário muito tempo para repô-las, e a sua distribuição geográfica não é homogênea, ao contrário das fontes de energia renováveis originadas graças ao fluxo contínuo de energia proveniente da natureza. Portanto, a energia não renovável também chamada de energia convencional é resultado da decomposição orgânica de milhões de anos devendo assim ser preservada, pois, uma vez gasta não é possível usá-la novamente. Essa energia também é considerada uma energia suja, uma vez que sua utilização é causa direta de grandes impactos ambientais e sociais. Não podemos esquecer os efeitos indiretos causados por acidentes, pois sabemos que qualquer vazão de petróleo ou vazamento químico trás grandes danos ao meio ambiente.

Consideram-se fontes de energia não renovável os combustíveis fósseis (carvão, petróleo bruto e gás natural) e o urânio, que é a matéria-prima necessária para obter a energia resultante dos processos de fissão ou fusão nuclear.

Das energias não renováveis o carvão mineral apresenta-se como um dos mais utilizados, já que seu custo é acessível e demonstra-se em grande abundância. Ele foi o primeiro combustível fóssil a ser usado para produção de energia elétrica, e é também um dos mais poluentes, uma vez que sua combustão libera para atmosfera gases tóxicos, o que acarreta grandes problemas para o planeta.

Já a energia renovável ou as fontes alternativas de energia vêm através dos tempos ganhando mais adeptos e força no seu desenvolvimento e aplicação, tornando-se uma alternativa viável para a atual situação em que o mundo se encontra, com as crises de petróleo, pela dificuldade de construção de centrais hidroelétricas, Termelétricas, carvão mineral, xisto, usinas nucleares e outras formas de energia suja, como são classificadas, em via de que a utilização destas gera uma grande degradação ambiental o qual é incontestável do ponto de vista social, econômico e humano.

A geração de energias renováveis ou alternativas é proveniente de ciclos naturais de conversão da radiação solar, que é a fonte primária de quase toda energia disponível na terra. Pois, como afirma Garcia e Garavello (2005; p. 236):

É a partir da energia do sol que se dá a evaporação, origem dos ciclos das águas, que possibilitam o represamento e a conseqüente geração de eletricidade (hidroeletricidade). A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos. Petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que originalmente, obtiveram a energia necessária ao desenvolvimento da radiação solar.

Isso significa dizer que a energia renovável é praticamente inesgotável e não se altera o balanço térmico do planeta. Suas formas e manifestações mais conhecidas são: a energia solar, a energia eólica, a biomassa e a hídrica.

No Brasil, a quantidade de sol abundante durante o ano estimula o uso de energia solar, usada para produção de eletricidade através da utilização de painéis solares e células fotovoltaicas. Além de gerar eletricidade o aproveitamento dessa energia oferece grandes vantagens, como: a ausência de poluição existe em abundância e é renovável. Entretanto, pelo fato de sua utilização em larga escala para geração de energia elétrica está em fase relativamente inicial de desenvolvimento tecnológico, a energia solar ainda não é viável economicamente, ou seja, os custos financeiros para sua obtenção superam os benefícios.

A fonte de energia mais utilizada em grande escala no Brasil e a energia hídrica, devido aos grandes mananciais de águas existentes. Nas hidroelétricas, a energia elétrica tem como fonte principal de energia proveniente da queda de água represadas a certa altura, onde a energia potencial que a água tem na parte alta da represa é transformada em

energia cinética, que faz com que as pás da turbina girem acionando o eixo gerador para produzir energia elétrica.

O desenvolvimento das tecnologias para o aproveitamento das energias renováveis, pode beneficiar comunidades rurais e regiões afastadas bem como a produção agrícola através da autonomia energética e conseqüente melhora global da qualidade de vida dos habitantes. Com o rápido crescimento observado para o consumo energético, e os problemas inerentes ao atual modelo energético baseado nas energias não renováveis, fazem com que seja imprescindível propor um novo modelo baseado na eficiência e na implementação das energias renováveis, pois às fontes de energia renováveis são aquelas que se encontram na natureza em quantidade ilimitada.

O Brasil é um grande produtor de produtos agrícolas, os quais geram uma grande quantidade de resíduos, onde esses podem, e muitas vezes são utilizados como fontes energéticas. Alguns desses resíduos como: plantas, animais e seus derivados, são chamados biomassa. Sua utilização pode ser de diversas maneiras e estado para obtenção das mais variadas formas de energia

Como vantagem da biomassa em substituição aos combustíveis fósseis, podemos citar o maior emprego da mão-de-obra, a menor poluição atmosférica global e localizada, e a estabilidade do ciclo de carbono. Assim, a crescente preocupação da sociedade com questões ambientais deve fluir as decisões dos responsáveis dentro destes aspectos, os combustíveis fósseis são os mais criticados devido a produção de uma quantidade de CO<sub>2</sub> que o planeta não tem condições de assimilar em longo prazo, causando o chamado efeito estufa e também pela possibilidade da emissão de dióxido de enxofre. A biomassa pode ser encontrada em três classes, sendo elas: sólida, líquida e gasosa. Os dejetos animais são os melhores alimentos para os biodigestores, pelo fato de já saírem de seus intestinos carregados de bactérias anaeróbias.

TABELA 1 – TIPOS de DEJETOS e PRODUÇÃO de BIOGÁS

Dejetos	Produção diária	Produção de biogás
Bovinos	15 kg/animal	270 m <sup>3</sup> por ton
Suínos	2,25 kg/animal	560 m <sup>3</sup> por ton
Eqüinos	10 kg/animal	260 m <sup>3</sup> por ton
Ovinos	2,80 kg/animal	250 m <sup>3</sup> por ton
Aves	0,18 kg/galinha	285 m <sup>3</sup> por ton

Fonte: BARRERA, 1993; p. 12

Além de ser uma forma de energia não poluente, uma outra vantagem é o sistema de produção de energia com a utilização de biomassa e os que utilizam energias fósseis, de forma que a substituição não tenha impacto tão grande na indústria de produção de equipamentos, nas bases instaladas de transporte e produção de energia elétrica.

### 3 Transformação da Biomassa em Energia

A forma mais utilizada para geração de energia elétrica através da biomassa dar-se pelo uso de biodigestores, que são cada vez mais utilizados, em termos mundiais. Dentro do biodigestor ocorre a biodigestão anaeróbia que cientificamente é um processo de degradação, transformação ou decomposição de substâncias vegetais

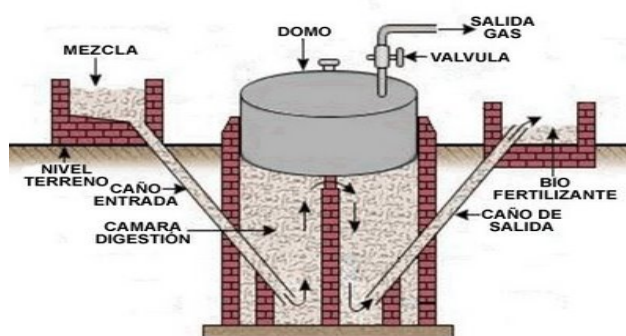
e/ou de animais, conhecidas por matéria orgânica, levado a efeito por seres vivos, como o homem, ou mesmo por microorganismos ou bactérias. Vários produtos sintéticos produzidos pelo homem, também são passíveis de biodigestão, os quais são conhecidos como produtos biodegradáveis. O meio ou aparelho através do qual se processa a biodigestão, é denominado biodigestor. É possível, portanto, definir o biodigestor como um aparelho destinado a conter a biomassa e seu produto: o biogás. Esse aparelho, no entanto, não produz biogás, uma vez que sua função é fornecer as condições propícias para que um grupo especial de bactérias degrade o material orgânico, com a seqüente liberação do gás metano.

Existem vários tipos de biodigestor, mas, geralmente são compostos de duas partes: um tanque para abrigar e permitir a digestão da biomassa, e o gasômetro, para armazenar o biogás.

No que se refere ao abastecimento de biomassa, o biodigestor pode ser classificado em: contínuos, proporcionando permanente fornecimento de gás e biofertilizante, e descontínuos, onde o fornecimento de gás é interrompido para descarga do material digerido e carga do material a digerir.

Dentre os biodigestores de sistema de abastecimento contínuo, mais difundidos no Brasil estão os modelos Indiano, Chinês e o da Marinha. Segundo Barrera, o modelo indiano caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória faz com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação. O modelo indiano possui pressão de operação constante, sendo construído enterrado no solo, ocupando pouco espaço no terreno, assim em termos de custos, sendo as paredes de seu biodigestor construídas dentro do solo, o modelo dispensa o uso de esforços, o que barateia as despesas. Seu abastecimento deverá ser contínuo, apresentando certa regularidade no fornecimento de dejetos.

**Fig. 1 – Esquema de um Biodigestor Modelo Indiano**



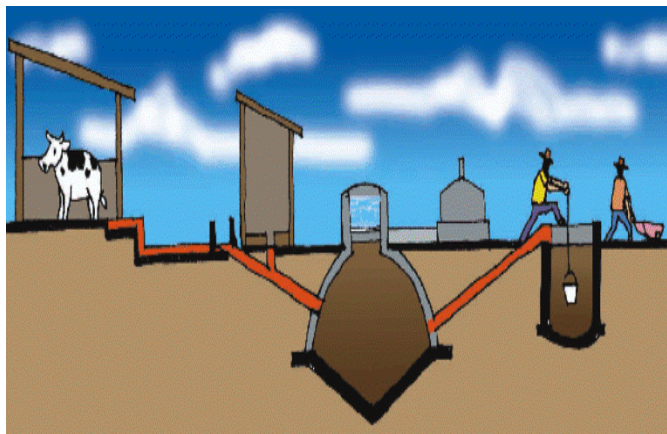
FONTE: OLIVER, 2008, p. 9.

Outro modelo de biodigestor contínuo é o chinês. Sua construção é quase toda em alvenaria, constituído de uma câmara cilíndrica onde ocorre a fermentação, tem teto abobadado, impermeável e é destinado ao armazenamento de biogás. Seu funcionamento baseia-se no princípio da prensa hidráulica, deste modo, aumentos de pressão no interior do biogás resultarão em deslocamentos dos efluentes na câmara de fermentação para a caixa de saída.

Uma vantagem deste modelo é que como ele dispensa o uso de gasômetro em chapa de aço, os custos são totalmente reduzidos, no entanto podem ocorrer

problemas de vazamentos caso a estrutura não seja bem vedada e impermeabilizada. Outra desvantagem deste modelo é que uma parte do gás produzido na caixa de saída é liberado para atmosfera o que impossibilita sua utilização para instalações de grande porte. Seu abastecimento é feito de forma contínua semelhante ao indiano, além disso, observamos algumas características em comum entre os modelos de construção.

**Fig. 2 – Esquema de um Biodigestor Modelo Chinês**



Fonte: GASPAR, 2003, p. 17

O processo de alimentação do biodigestor pode ser classificado como por batelada e contínuo. O biodigestor batelada por ser simples e é indicado para pequenas produções de biogás. Esse tipo de biodigestor é abastecido de uma única vez, portanto não é um biodigestor contínuo, mantendo-se em fermentação por um período conveniente, sendo o material descarregado posteriormente após o término do período efetivo de produção de biogás, ou seja, sua alimentação é descontínua e a geração de gás não é constante. Depois de aberto, a biomassa restante é retirada, podendo ser utilizada como biofertilizante, e novamente é adicionada a matéria, repetindo-se o processo.

Esse tipo de biodigestor é encontrado pronto no mercado ou pode ser construído, utilizando um material simples existente na propriedade.

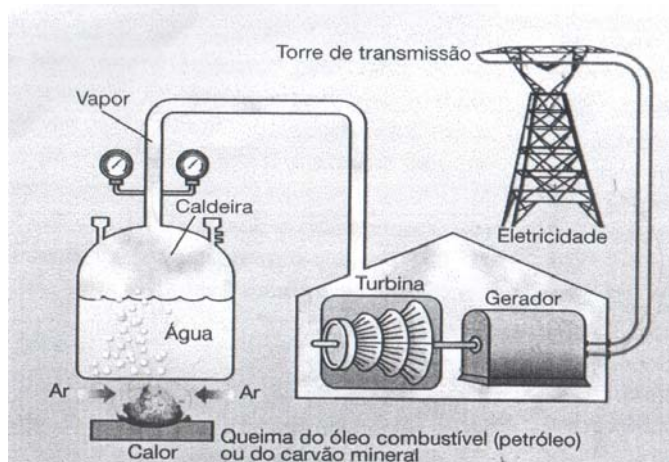
Existem diversas tecnologias para efetuar conversão energética do biogás, assim, entende-se por conversão energética o processo que transforma um tipo de energia em outro. No caso do biogás a energia química contida em suas moléculas é convertida em energia mecânica por um processo de combustão controlado, desta forma essa energia mecânica ativa um gerador que a converte em energia elétrica.

A composição típica do biogás é cerca de 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, aminas voláteis e oxigênio (WEREKO-BROBBY; HAGEN apud COELHO et al, 2006, p. 759-771).

O aproveitamento do biogás tem assumido nos últimos anos um papel bastante relevante no contexto da geração de energia com base em fonte renovável. No entanto, o biogás é um dos principais produtos resultante da degradação anaeróbia da matéria orgânica, sendo produzida quantidade bastante significativa deste gás a partir de processos naturais. Portanto, a produção de biogás representa um avanço importante no sentido da solução do problema da disponibilidade de combustíveis no meio rural, além de ser um meio de estímulo a agricultura, promovendo a devolução de produtos vegetais ao solo e aumentando o volume e a qualidade de

adubo orgânico. Contudo, traz vantagens e eficiência em diversas aplicações, facilitando a implantação dos biodigestores para fins econômicos, sociais e ambientais. Neste sentido foi feita a elaboração experimental do projeto de pesquisa tendo como o princípio de funcionamento uma termoeletrica, onde o vapor da água produzida por uma caldeira aquecida pela queima do carvão e do petróleo, é que faz com que se movimentem as turbinas. O processo será o mesmo para transformar o biogás em energia elétrica, porém a queima do gás não apresenta alto grau de poluição o que o difere das termoeletricas.

**Fig. 3 – Modelo esquemático simplificado de uma termoeletrica**



FONTE: LUCCI, 1997, p. 120.

A geração de energia foi realizada por um processo de combustão do gás, que ao aquecer a água de um recipiente originou-se uma determinada pressão onde a mesma fez girar a turbina, que acoplado ao gerador produziu energia.

#### 4 A Construção do Protótipo

A proposta para este projeto foi criar um protótipo de biodigestor para a apresentação da simplicidade de obtenção de biogás, a partir de esterco bovino. A construção foi feita a partir de um tambor metálico, facilmente encontrado a preço reduzido, o que simplificou a montagem e garante o baixo custo final.

**Fig. 4 – Foto do protótipo de biodigestor**



Após a produção do gás dentro do biodigestor, é realizada sua queima, para que assim possa aquecer a água da panela de pressão onde irá movimentar as pás da turbina que está acoplada ao gerador dando origem a energia que irá alimentar a maquete da residência rural onde estariam presentes todos os equipamentos para uma vida confortável no campo. Para esta finalidade foram computados os seguintes itens: Lâmpada PL 20w; Televisor 12 a 20"; Geladeira comum 270 L; Aparelho de som, Bomba d'água 1/3 HP; Micro computador (completo); Receptor de satélite e DVD consumindo algo em torno de 120 kw/ mês.

## 5 Análise dos Resultados Preliminares

Os testes realizados até o presente momento sob maquete, foram feitos apenas com gás de cozinha, pois a quantidade de gás produzida foi insuficiente. No entanto testes estão sendo realizados com outros dois biodigestores para aumentar a produção desse gás e gerar energia suficiente para alimentar à mesma. É importante observar que para utilizar o mesmo processo em uma pequena propriedade rural é necessária uma quantidade maior de biogás e conseqüentemente um gerador com uma capacidade maior.

**Fig. 5 – Foto da Caldeira simulada**



**Fig. 6 – Foto da turbina simulada**

**Fig. 7 – Foto da residência rural simulada**



## 6 Conclusões

Analisando a alimentação de uma casa através da energia gerada por um biodigestor, tendo a residência consumo mensal de 119,9 kw, pode-se avaliar que para atender essa mesma demanda real precisaríamos de aproximadamente 84 m<sup>3</sup> de biogás e para geração desse biogás seria necessário 2100 kg de esterco, ou seja, o produtor teria que ter aproximadamente 8 cabeças bovinas de 250kg. Analisamos tais resultados nos cálculos a seguir:

Para construir o biodigestor o produtor rural pode escolher o modelo que lhe for mais viável, caso escolha o modelo em manta de laminado de PVC, deve-se seguir alguns parâmetros sobre a localização do biodigestor:

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

Portanto, para os pequenos proprietários rurais fazer uso de um biodigestor com finalidades energéticas e ambientais é muito vantajoso, uma vez que se torna mais econômico que a energia da concessionária, tanto por gerar energia como por lhe proporcionar adubo de boa qualidade para as plantações. Tal análise foi baseada no processo de comparação do custo de energia fornecida pela concessionária e pelo uso de biodigestor.

## 7. Referências

BARRERA, Paulo. Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural. 2<sup>a</sup> edição. São Paulo: Ícone, 1993.

COELHO, Suani Teixeira et al. Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto. São Paulo, 2006.

GASPAR, Rita Maria Bedran Leme. Utilização de Biodigestor em Pequenas e Médias Propriedades Rurais com Ênfase na Agregação de Valor: Um Estudo de Caso na Região de Toledo-PR. Disponível em: <<http://www.teses.eps.ufsc.br/defesa/pdf.Florianópolis,2003>>. Acesso em: 29 de outubro de 2007.

LUCCI, Elian Alabi. O homem no espaço global. São Paulo: Saraiva, 1997.

O POTÊNCIAL das Energias Renováveis. Disponível em: <<http://www.planetaorganico.com.br/energiasrenov.htm>, 2005>. Acesso em: 12 de março de 2008.

.OLIVER, André de Paula M. Manual de Treinamento em biodigestão. Disponível em: <<http://www.acesso> em 29 de novembro, 2008.