

DANIELA CRISTIANE TESTON

A PRODUÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE ESTERCO BOVINO COMO SOLUÇÃO
AMBIENTAL PARA IMPACTOS GERADOS POR SISTEMAS INTENSIVOS DE
PRODUÇÃO ANIMAL.

Monografia para conclusão de Curso de
Especialização em Gestão Ambiental e
Negócios do Setor Energético do Instituto de
Eletrotécnica e Energia da Universidade de
São Paulo.

Orientador: Profa. Juliana Cassano Cibim

São Paulo
2010

**AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES
TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO,
PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE**

FICHA CATALOGRÁFICA

AGRADECIMENTOS

A toda minha família minha eterna gratidão.

RESUMO

TESTON, D. C.: A produção de energia a partir de esterco bovino como solução ambiental para impactos gerados por sistemas intensivos de produção animal. Monografia de especialização – Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios do Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo. 2010. 44 f.

Estudo sobre o uso de esterco bovino para a produção de biogás como instrumento de gestão ambiental e sua aplicação para gerar rentabilidade aos produtores rurais. Após a apresentação do cenário brasileiro e mundial sobre alternativas de produção de energia a partir de fontes renováveis, e a definição de sistemas intensivos de produção animal, o estudo mostra a possibilidade de transformar um resíduo potencialmente poluente ao meio ambiente em alternativa energética utilizando a tecnologia simples dos biodigestores.

Palavras-chave: Biogás. Fontes Renováveis. Sistemas Intensivos de Produção Animal. Energia. Esterco. Resíduo. Poluente. Meio Ambiente.

ABSTRACT

TESTON, D. C.: **The production of energy from cattle manure for environmental solution to impacts from intensives productions systems animals.** Specialization monography – Environmental Management and Energy Sector Business of the Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

Study about use cattle's manure to produce biogas as environmental management tool and its application to generate returns for rural producers. After the presentation of the Brazilian's and world's alternative energy production from renewable sources, and the definition of intensives productions systems animals, the study shows the possibility of transforming a waste potentially pollution the environment as an alternative energy using the simple technology of the bio digesters.

Keywords: Biogas. Renewable Sources. Intensives Productions Systems Animals. Energy. Manure. Waste. Pollutant. Environment.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. FONTES RENOVÁVEIS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA	10
2.1. Fontes renováveis no Brasil	10
2.2. Os investimentos em energia renovável no mundo	16
3. SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUÇÃO ANIMAL	18
3.1. Sistemas intensivos de produção animal na bovinocultura	18
3.2. A produção de resíduos orgânicos e seu aproveitamento	18
3.3. Possíveis impactos gerados ao meio ambiente pelos sistemas intensivos de produção animal	20
4. PRODUÇÃO DE BIOGÁS	23
4.1. O biogás e seu processo de produção	23
4.2. Biodigestores	26
4.3. Cálculo de produção de biogás a partir de dejetos bovinos	29
4.4. Vantagens da produção de biogás a partir de dejetos bovinos	31
5. GERAÇÃO DE ENERGIA	33
5.1. Geração de energia descentralizada / distribuída	33
5.2. Possibilidades de uso do biogás para a geração de energia	35
5.3. Utilização da energia produzida a partir de dejetos bovinos em propriedades rurais.	35
5.4. Rentabilidade através da produção de biogás	36
6. CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

Sistemas intensivos de produção animal, como o confinamento na bovinocultura, são atividades potencialmente impactantes ao meio ambiente devido à alta produção de dejetos em ambientes restritos geograficamente.

Os dejetos, resultante desses sistemas, são provenientes de dietas com altos valores energéticos e protéicos, são ricos em nutrientes que, se não tratados adequadamente e dispostos no meio ambiente sem precaução, podem constituir poluentes preocupantes em corpos d'água, solo e ar.

Por esse motivo, pressões ambientais indicam a necessidade de redução da excreção de nitrogênio, fósforo e potássio, bem como a redução de metano de origem pecuária, como fatores importantes para nortear pesquisas relacionadas com a alimentação, nutrição e manejo dos dejetos dos animais.

Isto se faz pelo aspecto prático e racional, como também pelo aspecto legal, uma vez que existem leis que regulamentam o assunto, em nível federal, estadual e municipal. Em nível federal, existe a Lei nº 24.043, de 10 de junho de 1934, conhecida como Código das Águas, e a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, chamada de Lei de Crimes Ambientais, que regulamenta as atividades ligadas ao Meio Ambiente. Contudo, em cada região podem existir leis, de âmbito estadual e municipal, que estabeleçam particularidades relacionadas a cada situação, atendendo aos requisitos mínimos das leis federais.

Além disso, a preocupação por desenvolver tecnologias limpas para geração de energia é cada vez mais evidente. Na II Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada em 1992 no Rio de Janeiro/RJ, um dos planos de ação resultante foi a Agenda 21 que dentre outras atribuições, consta a substituição em 50% das fontes energéticas por fontes renováveis até 2020 em busca de um desenvolvimento sustentável.

O protocolo de Kyoto, um tratado internacional que teve origem em 1988 em Toronto, Canadá, na *Conference of Changing Atmosphere*, seguida pelo *IPCC's First Assessment Report*, (Sundsvall, Suécia, 1990) e culminou com a *Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática* na *ECO – 92* (Rio de Janeiro, Brasil, 1992), e foi assinado em 1997, prevê, entre outras ações, metas para a redução de emissão de gases de efeito estufa (GEE).

O objetivo deste estudo é, através de levantamentos bibliográficos, apresentar uma alternativa de produção energética descentralizada, a partir de uma fonte potencialmente poluente, como

forma de prevenir impactos ambientais gerados por uma atividade comercial que mostra forte crescimento no Brasil.

2. FONTES RENOVÁVEIS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA

2.1. Fontes renováveis no Brasil

As fontes de energia renováveis compreendem fontes alternativas às tradicionais, como o petróleo e o carvão (altamente poluentes e esgotáveis), pois são perenes e causam pouco ou nenhum impacto ao meio ambiente.

As principais características das fontes alternativas são a capacidade de renovação constante e a preservação dos recursos naturais.

Exemplos de fontes renováveis de energia são: sol, vento, água, biomassa, geotermia e hidrogênio.

No Brasil as energias de fontes renováveis representam 44,7% da matriz energética (sendo 29,7% biomassa, 15,0% hidráulica, 9,3% gás natural), no mundo é de apenas 13.3% (Ministério de Minas e Energia).

Praticamente inesgotável, a energia solar pode ser aproveitada para a geração de energia elétrica através de painéis solares e células fotovoltaicas.

Os Sistemas Fotovoltaicos (SFV) tem a grande vantagem por possuírem baixíssimas emissões de CO₂ na produção de energia elétrica. Para uma disseminação da tecnologia em larga escala no Brasil, é necessária a criação de políticas de incentivo ao desenvolvimento da indústria fotovoltaica para a nacionalização dos equipamentos, principalmente porque o Brasil possui 90% das reservas mundiais de silício economicamente aproveitáveis e sofre incidência de radiação solar em todo território praticamente o ano todo (ZILLES, 2009).

Além disso, é necessário incentivar os consumidores a utilizarem essa tecnologia, pois estudos realizados por Junior, em 2005, mostram que para viabilizar a expansão dos SFV no Brasil é necessário que o governo crie um programa de subsídios para incentivar o uso desse tipo de energia elétrica para, então, aumentar a demanda e torná-la atrativa e competitiva.

Já a energia cinética do deslocamento das massas de ar (vento) pode ser transformada em energia mecânica ou elétrica através de turbinas eólicas. O emprego dessa tecnologia no mundo vem crescendo a cada ano, principalmente na Europa, Ásia e América do Norte, sendo que a Alemanha tem a maior capacidade instalada e, na América Latina o maior desenvolvimento da capacidade instalada foi em 2006, segundo dados do GWEC – Global Wind Energy Council,

Visando a diversificação da matriz energética nacional para garantir maior confiabilidade e segurança ao abastecimento, o governo federal criou o PROINFA, um importante instrumento, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), que estabelece a contratação de 3.300 MW de energia no Sistema Interligado Nacional (SIN), produzidos por fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), sendo 1.100 MW de cada fonte (Ministério de Minas e Energia).

No Brasil, a energia eólica representa 0,25% da matriz energética e o PROINFA prevê financiamentos através do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento) e incentivos como subsídios ao consumidor (tarifa garantida), contrato de compra da energia pela Eletrobrás por um período de 20 anos e índice mínimo de nacionalização de 60%. (Ministério de Minas e Energia).

A água é outro recurso natural abundante no Brasil e responsável pela maior parte da energia elétrica gerada a partir de fontes renováveis (85%). A partir da energia cinética da água que movimenta as turbinas hidráulicas é gerada energia mecânica que através de geradores é convertida em energia elétrica em Usinas Hidrelétricas e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH).

A biomassa, como fonte energética, inclui materiais de origem vegetal, animal, e resíduos agrícolas e urbanos.

No Brasil, a biomassa mais comumente utilizada é a cana-de-açúcar para a produção de etanol (biocombustível). O foco na cana-de-açúcar como fonte renovável para a produção de combustível teve seu início com o programa de incentivo, o Pró-Álcool, do governo federal em 1975. A estratégia era desenvolver um programa de produção de combustível em substituição aos combustíveis de origem do petróleo e, dessa forma, minimizar a dependência externa na importação do petróleo.

Esse foi o maior programa comercial de biomassa e possibilitou o desenvolvimento de inúmeras pesquisas à alternativa do uso do petróleo (indústria automotiva, canavieira, química, etc.).

No entanto, em meados de 1987, quando o petróleo teve uma baixa no preço, o álcool se tornou pouco competitivo e desinteressante, e a produção de açúcar tornou-se mais rentável para os usineiros.

Com a falta do combustível no mercado, e o declínio da produção de automóvel a álcool, o programa teve seu fim.

As preocupações com a redução da emissão de poluentes e o alto preço do petróleo, além do desenvolvimento da tecnologia automotiva flex (utilização de gasolina e/ou etanol como

combustível), fez com que o etanol retornasse como alternativa estratégica na matriz energética brasileira.

Muitos estudos foram feitos no campo agrônomo até que se chegasse a um incremento da eficiência produtiva da cana-de-açúcar, novas tecnologias melhoraram a eficiência do parque industrial e os aspectos ambientais foram determinantes para uma maior visibilidade do etanol como fonte alternativa, competitiva e menos poluente em relação aos combustíveis fósseis.

O avanço da indústria automotiva na produção dos bi-combustíveis, a adição do etanol à gasolina (20 a 26%) e o preço do petróleo (etanol competitivo economicamente) foram fundamentais para o sucesso do etanol.

No campo do conhecimento técnico, estudos mostram que a eficiência da produção de etanol a partir da fermentação do caldo da cana-de-açúcar (1ª. Geração) vem sofrendo aumento desde o Pró-Álcool.

As pesquisas para o desenvolvimento da tecnologia de 2ª. Geração (hidrólise enzimática, hidrólise ácida e gaseificação de Fischer-Tropsch) para a produção de etanol tem avançado mundialmente, no entanto, o grande desafio é reduzir o custo relativo ao uso das enzimas.

Na esfera ambiental, o balanço positivo da conversão de energia solar (fotossíntese) em energia mecânica, ou seja, a quantidade de CO₂ capturado no processo vegetativo de desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar é maior do que é emitido na sua produção e consumo como combustível, isso torna o uso do etanol estratégico para a redução de emissão GEE.

O Brasil se tornou referência quanto à produção de biocombustível a partir da cana-de-açúcar e, segundo André Lago, diretor do Departamento de Energia do Ministério das Relações Exteriores, para que o etanol se torne uma commodity é necessário um número considerável de produtores, um número considerável de consumidores (interno e externo), o estabelecimento de padrões técnicos e limites à barreira de comércio (comércio livre, como o petróleo).

Negociações com os Estados Unidos e União Européia tem buscado identificar a demanda para biocombustíveis e juntamente com o Brasil, têm trabalhado para aproximar as novas técnicas rumo a comoditização.

Também nesse sentido, o Brasil tem providenciado estudos de potencial para a produção e consumo de biocombustíveis para países em desenvolvimento (países da América Central, do Caribe e da África do Sul).

Discussões quanto à sustentabilidade do etanol, principalmente quanto ao avanço da cultura em áreas de produção de alimento, ao aumento do desmatamento na Amazônia devido à

pressão da pecuária que tem se deslocado em função do avanço da cana-de-açúcar, são levantadas continuamente pelos países interessados na importação do etanol, principalmente União Européia.

Ainda segundo, André Lago, essa é uma discussão baseada em dados incorretos, já que o Brasil tem uma extensão territorial imensa para a produção de alimento e a cana-de-açúcar ocupa apenas 1% do território nacional.

Outras preocupações ambientais envolvem o uso excessivo de agroquímicos nas lavouras (contaminação de corpos-d'água, solo e ar), a perda de biodiversidade devido às características da monocultura e a produção de dióxido de carbono (CO₂) e material particulado (MP) durante a queima da cana para a colheita manual e, recentemente, a emissão de MP nas caldeiras de cogeração de energia. Para solucionar esse problema, no estado de São Paulo, foi criada uma lei para extinguir as queimadas gradualmente conforme o tamanho das propriedades até o ano de 2007. Ainda nesse aspecto, para acelerar o processo, foi firmado junto aos empreendedores do setor um acordo de compensação para aqueles que eliminassem definitivamente esse procedimento antes do prazo estabelecido por lei.

O aperfeiçoamento da tecnologia das colheitadeiras para cana crua também colaborou para esse processo.

A vantagem em eliminar as queimadas, além de minimizar a emissão de MP, é que a palha resultante da colheita fica no solo e isso mantém a umidade elevada e colabora na recomposição de nutrientes através da decomposição da matéria-orgânica.

No entanto, com o fim das queimadas, a colheita manual se torna inviável, conseqüentemente, isso diminui a demanda de mão-de-obra (MO) (bóias-frias) causando um impacto social negativo, já que se trata de uma MO não qualificada que terá dificuldades em se recolocar no mercado de trabalho.

Não está claro, ainda, qual o plano de ação do setor para minimizar esse impacto. Segundo representantes da União da Indústria de Cana-de-açúcar (ÚNICA) será realizada a qualificação dessa MO para que seja empregada no mercado de construção civil e, em alguns casos, empregada na própria cadeia produtiva do etanol (tratoristas, preparo de solo, etc.).

De qualquer forma, na indústria do etanol a taxa de emprego por energia é cerca de 150 vezes mais do que na petroquímica.

É evidente a importância estratégica do etanol como elemento participativo da matriz energética brasileira, além da importância econômica com perspectivas de aumento de exportação (no ano de 2008 dos 17,5 bilhões de litros produzidos, somente 3 bilhões foram exportados), apesar das barreiras comerciais protecionistas dos países desenvolvidos.

Os principais resíduos da indústria canavieira são o bagaço (utilizado para a produção de vapor d'água e energia elétrica) e a vinhaça (utilizada comumente como fertilizante e, mais recentemente, para a produção de energia através da gaseificação).

O bagaço resultante do processo de moagem para a extração do caldo é uma fonte significativa de energia renovável e é utilizado para a produção de vapor destinado aos processos industriais e para a cogeração de energia elétrica para o parque industrial e, o excedente para a disponibilização na rede de distribuição através de leilões de energia.

O processo de cogeração consiste em aproveitar o vapor produzido nas caldeiras, pela queima do bagaço, em turbinas a vapor para a geração de energia elétrica.

Os diferentes tipos de caldeiras (fornalha do tipo ferradura, com grelha plana ou inclinada de leito fixo, ou, de queima em suspensão) resultam em diferentes eficiências (capacidade de produção), as quais podem ser melhoradas através da recuperação dos gases de exaustão.

Outras formas de aproveitamento do bagaço para a produção energética, além da combustão, são a gaseificação (processo de conversão de materiais sólidos em combustível gasoso, por meio de reações termoquímicas, ou oxigênio), e a pirólise (processo de queima com ausência de oxigênio e altas temperaturas), no entanto, são técnicas, ainda, de custo elevado.

Há vantagens em produzir energia elétrica através do uso do bagaço de cana, uma delas é a grande disponibilidade desse tipo de material, outra é o suprimento de energia nas épocas de estiagem, quando a capacidade das hidrelétricas diminui, além de ser uma produção energética sem o uso de combustíveis fósseis e altamente poluentes como o utilizado pelas termoelétricas à diesel e à carvão e, também, por estarem próximas aos centros de carga (região sudeste).

Apesar desse incentivo, não houve muita adesão por parte do setor canavieiro que alegou a falta de competitividade econômica para a esse tipo de produção de energia elétrica.

No entanto, devido ao interesse e ao posicionamento estratégico do governo federal em relação à produção de energias alternativas, deverá aumentar a adesão conforme as políticas sejam ajustadas.

Outro entrave que necessita de regularização é a logística para a distribuição no SIN, há necessidade de se criar subestações em pontos-chave, devido à localização dispersa das usinas de geração, para viabilizar economicamente a distribuição dessa energia.

Do ponto de vista ambiental e social, os impactos causados pela produção de energia elétrica a partir do bagaço de cana são semelhantes aos causados pela produção do etanol, já que ambos partem da mesma fonte (cana-de-açúcar) e, portanto, do mesmo tipo de produção agrícola (monocultura).

Outro programa de incentivo ao desenvolvimento de tecnologias para a produção e uso de combustíveis provenientes de fontes renováveis é o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB). O objetivo é implantar um programa sustentável que promova a inclusão social, garanta preços competitivos, qualidade e abastecimento, produza o biodiesel a partir de diferentes regiões e fontes de oleaginosas para a geração de emprego e renda.

Segundo lei no. 11.097, de 13 de janeiro de 2005, biodiesel é um “bicombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão, ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil”.

O biodiesel pode ser produzido a partir de gorduras animais ou de óleos vegetais (mamona, dendê, girassol, babaçu, amendoim, pinhão manso, soja, dentre outros) e obtido por diferentes processos tais como craqueamento, esterificação ou pela transesterificação (processo mais utilizado).

Como incentivo ao uso do biodiesel, a lei no. 11.097, de 13 de janeiro de 2005, estabeleceu a obrigatoriedade da adição de um percentual mínimo de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor, em qualquer parte do território nacional. A partir da publicação da lei, o percentual foi de 2% por três anos e, atualmente é de 5% (GOVERNO FEDERAL).

A energia geotérmica é proveniente do calor do interior da crosta terrestre, é uma energia duradoura e independente de condições climáticas (sol, chuva). Alguns países como México, Islândia, Japão, Itália, Alemanha e Portugal têm expandido a geração de energia elétrica através da geotermia. O Brasil tem intenção de investir nessa tecnologia.

Um dos elementos mais abundantes no planeta é o hidrogênio e seu uso em célula de combustível (célula eletroquímica que consome o hidrogênio liberando energia e produz água como resultado da reação) tem sido amplamente estudado. O alto custo para a produção do hidrogênio através da eletrólise da água torna essa tecnologia pouco utilizada. O hidrogênio pode ser obtido a partir do metano, porém o método de conversão do metano libera gases poluentes, o que o torna pouco interessante sob o ponto de vista ambiental.

Outras fontes de energia, provenientes de resíduos, são o esterco produzido em sistemas de produção intensiva de animais domésticos para fins comerciais (bovinos de corte, bovinos de leite, suínos e aves), resíduos agrícolas, o lixo urbano e o esgoto doméstico. Essas fontes são preocupações ambientais devido ao seu alto potencial poluente e a geração de energia a partir da digestão anaeróbia (biodigestão) é forma de aproveitamento e solução para possíveis impactos ao meio ambiente.

Por se tratar de um país de larga extensão territorial com diferentes tipos de biomas e o favorecimento de ter parte de seus recursos naturais preservados, o Brasil se destaca nesse mercado, pelo potencial em gerar energia a partir de fontes renováveis.

2.2. Os investimentos em energia renovável no mundo

A recente crise econômica mundial colocou em pauta não somente a discussão sobre a fragilidade dos sistemas financeiros nos EUA, mas também a necessidade de dar continuidade ao crescimento econômico mundial sem aumentar, demasiadamente, as emissões de GEE.

Em respeito aos acordos firmados no Protocolo de Kyoto, países como a China, EUA e Alemanha vêm sofrendo pressões para colaborarem no atendimento das metas.

Segunda matéria da BBC Brasil publicada em 01 de agosto de 2008 no site do jornal O Globo, o relatório do grupo independente Climate Group, mostra que em 2007, a China investiu US\$ 12 bi em energias renováveis, atrás apenas da Alemanha com US\$ 14 bi. Além disso, a China é líder em capacidade instalada de produção de energia renovável, ocupando a primeira posição em produção de energia hidrelétrica e a quinta colocação em número de turbinas eólicas.

Apesar dos investimentos para a redução de GEE, a China ainda ocupa a primeira colocação em emissão total.

Outras informações sobre o aporte de investimentos em energias renováveis vêm do relatório World Investment Outlook 2003 e World Energy Outlook 2007, onde a projeção para até 2030 é de que duplique a demanda mundial de gás natural. Ainda segundo os relatórios serão os países não membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento do Comércio (OCDE), como mostra a figura 1, os principais fornecedores de energia mundial.



Figura 1 - Países membros da OCDE

Fonte: (MEIRA, S., 2008)

Isso significa que os países em desenvolvimento, como o Brasil, terão a oportunidade de desenvolver tecnologias mais limpas de produção e sistemas de produção de energias renováveis como etanol, biodiesel, hidráulica, eólica, fotovoltaica, gás natural, geotérmicas, célula de hidrogênio, entre outras.

O exemplo disso, é que no Brasil é crescente o interesse de investidores externos pelos setores de produção de energias alternativas como etanol e biodiesel.

Haja vista o aumento do número de instalações de usinas sucroalcooleiras e o aumento das áreas de plantio de cana-de-açúcar, principalmente nos estados de São Paulo, Mato do Grosso do Sul e Minas Gerais.

Entre 2007 e 2009, o Brasil ficou entre os cinco maiores investidores mundiais em energias limpas. Em 2008, os investimentos foram de US\$ 10,8 bi, 76% maior que em 2007 (AGÊNCIA BRASIL, 2009).

Apesar da crescente demanda por alternativas energéticas sustentáveis, a crise financeira internacional afetou os investimentos mundiais em 2009. No entanto, o mercado aponta para uma recuperação e há expectativa de aumento dos novos negócios.

3. SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUÇÃO ANIMAL

3.1. Sistemas intensivos de produção animal na bovinocultura

Os sistemas intensivos de produção animal consistem em restringir o espaço físico onde os animais são produzidos e fornecer alimento e água em cochos. O objetivo desses sistemas é aumentar a produtividade, ou seja, produzir mais em menor espaço físico e de tempo, reduzir a idade de abate dos animais, acelerar o retorno do capital investido, e reduzir a ociosidade dos frigoríficos na entressafra (MANSO e FERREIRA, 2007).

Na bovinocultura de corte esses sistemas são chamados de confinamento e são utilizados na fase de terminação dos animais, ou seja, na fase de pré-abate para o acabamento da carcaça que será comercializada.

Na produção intensiva de leite, como nos sistemas free stall, os animais são permanentemente mantidos confinados em estábulos e os alimentos e água são fornecidos em cochos.

3.2. A produção de resíduos orgânicos e seu aproveitamento

Tanto na pecuária de corte, quanto na de leite, o resultado da alta ingestão de alimentos em espaços restringidos é a produção de esterco (fezes) em alta concentração. Diferente da produção a pasto que os animais circulam por extensa área defecando de maneira dispersa no ambiente permitindo a completa decomposição desse material potencialmente poluente.

Portanto, um manejo adequado dos resíduos é uma necessidade sanitária, ecológica e econômica. Sanitária porque os resíduos podem prejudicar a saúde dos animais e do homem, tanto dentro como fora da propriedade. Ecológica, porque os resíduos, ricos em matéria orgânica e nutrientes, causam poluição e desequilíbrio no meio ambiente. E por fim, econômica porque o tratamento dos resíduos envolve recursos de equipamentos, de material e de mão de obra, que oneram o sistema produtivo e podem até mesmo inviabilizá-lo (HARDOIM e GONÇALVES 2003).

Usualmente, na produção leiteira, os estábulos são lavados diariamente para a limpeza e retirada dos dejetos dos animais. Isso gera uma grande quantidade de efluente líquido (água + fezes) que pode ser armazenado em lagoas de decantação, ou então, em biodigestores para a produção de energia.

No sistema de confinamento de corte, para o aproveitamento do material excretado pelos animais é necessário que os piquetes sejam construídos de forma a viabilizar a lavagem, ou raspagem, do material, ou seja, o piso deve ser impermeabilizado e com canaletas de captação.

Em qualquer tipo de criação, é importante que se proceda adequadamente a coleta, o armazenamento e o destino dos dejetos dos animais. A forma de coleta está intimamente relacionada com o tipo de armazenamento e o destino que se pretende dar às excreções.

Existem vários sistemas de produção e aproveitamento do esterco, que definem os tipos ou modelos de esterqueiras construídas pelos criadores. O esterco é representado geralmente pela parte sólida dos dejetos, compreendendo as fezes, resíduos de cama e rações, com teores de 18 a 40% de matéria seca (PAULO e HELIO, 2001).

O esterco pode ser usado diretamente no campo, em adubação de pastagens ou lavouras. É a forma mais fácil e econômica de destinação, porém tem desvantagens. Segundo Kiehl (1997), o excesso de umidade e, muitas vezes excesso de cama (palha), dificultam a aplicação, e a elevada relação carbono (C)/Nitrogênio (N) pode causar a imobilização do N do solo e induzir a deficiência desse nutriente na planta, a pouca concentração, ou nenhuma de cama, resulta em relações C/N menores e há possibilidade de perdas de N por volatilização de amônia (NH_3) logo após a aplicação do esterco.

Além disso, o emprego do esterco fresco pode contribuir para a disseminação de ervas daninhas e verminoses, além de não apresentar propriedades físico químicas ideais como as encontradas nos produtos humificados (provenientes do processo de compostagem através de minhocas, húmus), como estado coloidal e as elevadas capacidades de absorver água, de reter cátions e tamponar o meio.

Outra forma de aproveitamento é a cura a céu aberto, ou seja, depositar o esterco num monte, de forma a concentrar o material e deixar que a cura aconteça sem qualquer tipo de controle ou cuidado específico. O uso dessa prática facilita a aplicação por concentrar maior quantidade de esterco e permitir seu uso racional em épocas de necessidade de adubação. A desvantagem é a proliferação de moscas e a liberação de gases como o enxofre (S) que causam mau cheiro.

Já a cura em esterqueira requer investimentos em estrutura (construção de caixa para contenção), o que eleva o custo e, além disso, não permite o revolvimento do material o que resulta numa cura desuniforme, o tempo de cura é longo, acima de 6 meses, há liberação de gases e proliferação de moscas.

Segundo Melo (1986), a construção de esterqueira para esterco sólido é praticamente ao nível do solo. Este tipo é adotado na maioria das pequenas propriedades, e em menor proporção, entre os grandes e médios criadores especializados. O tempo de exposição necessário para que ocorra a fermentação varia de 20 a 60 dias. A esterqueira para esterco líquido é utilizada por criadores nas regiões mais evoluídas tecnicamente e que possuem boa infraestrutura de mecanização, com equipamentos especializados para o carregamento, transporte e distribuição do esterco líquido.

A compostagem é outra forma de utilização do esterco. Consiste em depositar o material em camadas alternadas (produtos “verdes” e “castanhos”), monitorar a temperatura revolvendo o material em intervalos regulares, umedecer o material a fim de manter as condições favoráveis à proliferação dos microorganismos decompositores para resultar num material rico em húmus e nutrientes. O processo de cura leva de 3 a 4 meses.

Pelo fato de os dejetos de bovinos possuírem elevadas concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), sólidos em suspensão e nutrientes (N e P), as bactérias presente nesse esterco, podem ser isoladas em um biodigestor anaeróbico. Dessa forma, transformam a matéria orgânica e fazem o processo de fermentação dessa biomassa, produzindo o gás metano que pode ser queimado.

O uso de dejetos de animais em biodigestores anaeróbicos apresenta vantagens, pois além de possibilitar a geração de energia elétrica por meio do metano (biogás) produzido, soluciona problemas como verminoses, contaminação por bactérias, bacilos disentéricos e paratíficos e outros. Além disso, constitui-se uma alternativa econômica para a propriedade rural pelo aproveitamento energético do biogás, que pode ser utilizado como uma fonte de energia em suas casas para cocção e no uso de implementos na atividade (FAUSTINO, 2009)

3.3. Possíveis impactos gerados ao meio ambiente pelos sistemas intensivos de produção animal

Sistemas intensivos de produção animal, como o confinamento de bovinos, são responsáveis pela descarga de grande volume de dejetos no meio ambiente: 3,67 Kg MS/cabeça/dia para bovinos de leite e 3,24 Kg MS/cabeça/dia para bovinos de corte (MCT, 2000). Se considerarmos que a quantidade total de cabeças é de 164.886.152, sendo 1.868.000 de cabeças em sistemas de confinamento (ANUALPEC, 2002), o volume total de dejetos provenientes desses sistemas é maior que 6.000 toneladas/dia.

O nitrogênio contido nas fezes contribui para a poluição do solo pela possibilidade de conversão em nitrato (NO_3) e do ar como amônia (NH_3) e óxidos de nitrogênio (NO_x) (TAMMINGS, 1992; TAMMINGS, 1996)

O fósforo também contribui para a poluição da água por meio da eutrofização, que se refere ao enriquecimento da água de superfície com nutrientes minerais e, conseqüentemente, altas taxas de respiração de algas e cianobactérias, resultando em baixos níveis de oxigênio dissolvido na água e morte de varias espécies de animais aquáticos, causando sérios danos ao ecossistema local (KONWTON e HERBEIN, 2002).

Quanto ao potássio o seu acúmulo no solo devido às adubações das pastagens com esterco, altera o conteúdo desse elemento nas forragens e sua alta ingestão acarreta em desordens metabólicas e fisiológicas em bovinos de corte (NRC, 2001).

Segundo Manso e Ferreira (2007), o fator ambiental, relevante para a atividade da pecuária em sistemas de confinamento, está relacionado principalmente à racionalização do uso de solo, que evita o desmatamento de grandes áreas para a formação de pastagens.

Nesse processo de criação intensiva de bovinos, fatores relacionados ao acúmulo de dejetos, geração de resíduos líquidos com altas concentrações de carga orgânica e a possibilidade da proliferação de moscas e mosquitos, podem causar poluição direta desse local, com conseqüências em toda área de influência indireta, afetando a qualidade ambiental e principalmente pela possibilidade da contaminação dos recursos hídricos.

A tabela 1 apresenta os nutrientes mais comumente encontrados nos esterco bovinos.

Tabela1 - Nutrientes mais comumente encontrado em esterco.

Origem do esterco	N	P₂O₅ em % MS	K₂O
Bovino de corte	1,80-3,70	0,96-2,36	0,74-3,01
Bovino de leite	1,84-5,60	1,00-2,34	0,69-5,06

Adaptado de KIEHL (1985)

Alguns estudos apontam que cerca de 50% do N no esterco fresco é facilmente convertido em amônia (NH_4) num tempo relativamente curto após a excreção do animal. Outros que cerca de 50% do N total é perdido durante o período total de confinamento, e 40% é perdido na superfície do curral. As perdas de N encontradas no confinamento são, primordialmente, através de emissão de gases (volatilização de amônia e denitrificação).

Já, no processo de compostagem, com temperatura e umidade constante, a volatilização da amônia do esterco de bovinos de corte resulta em diminuição de 35% do N na forma de amônia do conteúdo de N total.

O gás amônia tem cheiro que incomoda, e é resultante da degradação da uréia presente nos dejetos. Pelo fato deste gás carregar outros gases nocivos, o seu teor é um dos melhores indicadores das condições bioclimatológicas do ambiente (PAULO e HELIO, 2001).

Outro gás componente de dejetos de bovinos é o gás de hidrogênio ou gás sulfídrico (H_2S) que tem cheiro de ovo podre, que é resultado da degradação de compostos orgânicos (JONES, 1992).

Especificamente, tem se que a quantidade de dejetos (fezes e urina) eliminados por dia por uma vaca de 600 Kg de peso vivo, por exemplo, é de 9% de seu peso, sendo 60% fezes com teor de água de 85% (PEREIRA, 1992).

Sem passar pelo processo de combustão o gás metano, resultante do processo de digestão dos ruminantes, se dispersado no ar é prejudicial ao meio ambiente, pois é um dos gases causadores do efeito estufa (GEE) com potencial 24 vezes maior de danos se comparado ao dióxido de carbono (COELHO et al, 2006).

A utilização de dejetos provenientes dos sistemas de confinamento de bovinos pode ser uma alternativa bastante viável para a produção de biogás e energia elétrica e, conseqüentemente, uma destinação adequada desse material sem prejuízos ao meio ambiente.

4. PRODUÇÃO DE BIOGÁS

4.1. O biogás e seu processo de produção

O biogás é um combustível gasoso composto por hidrocarbonetos de cadeia curta e linear, principalmente metano (CH_4) (65%).

A produção de metano ocorre naturalmente em diferentes ambientes como pântanos, solo, sedimentos de rios, lagos, reservatórios de hidrelétricas e mares, assim como, nos processos digestivos de animais ruminantes (fermentação entérica).

Para a produção de biogás, o material orgânico, neste caso o dejetos animal, é metabolizado, através de digestão anaeróbica, por uma mistura de microorganismos capazes de metabolizar carboidratos, lipídeos e proteínas produzindo, principalmente, metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e material celular (JUNIOR, 1994; SANTOS, 2001).

Esse processo de digestão anaeróbica é conhecido como biometanização e compreende um sistema biológico delicadamente balanceado, onde cada microrganismo tem uma função essencial.

O processo de biometanização envolve quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

A primeira fase no processo de degradação anaeróbia consiste na hidrólise de materiais particulados complexos (polímeros) em materiais dissolvidos mais simples (monômeros) os quais podem atravessar as paredes celulares das bactérias fermentativas. Esta conversão de materiais particulados em materiais dissolvidos é conseguida através da ação de enzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas (VAN HAANDEL e LETTINGA et al., 1996).

Na acidogênese, os produtos solúveis oriundos da fase de hidrólise são metabolizados por um grupo de bactérias facultativas e anaeróbias denominadas acidogênicas, ou fermentativas (*Clostridium* e *Bacteroids*). A maioria das bactérias acidogênicas são anaeróbias estritas, mas cerca de 1% consiste de bactérias facultativas que podem oxidar o substrato orgânico por via oxidativa. Isso é particularmente importante, uma vez que as bactérias estritas são protegidas contra a exposição ao oxigênio eventualmente presente no meio (VAN HAANDEL e LETTINGA et al. 1996).

As bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica em substrato apropriado para as bactérias metanogênicas. Dessa forma, as

bactérias acetogênicas fazem parte de um grupo metabólico intermediário que produz substrato para as metanogênicas. Os produtos gerados pelas bactérias acetogênicas são o hidrogênio, o dióxido de carbono e o acetato. Durante a formação dos ácidos acético e propiônico uma grande quantidade de hidrogênio é formada, fazendo com que o valor do pH no meio aquoso decresça. De todos os produtos metabolizados pelas bactérias acidogênicas, apenas o hidrogênio e o acetato podem ser utilizados diretamente pelas metanogênicas. Porém pelo menos 50% da DQO (Demanda Química de Oxigênio) biodegradável é convertida em propionato e butirato, os quais são posteriormente decompostos em acetato e hidrogênio pela ação das bactérias acetogênicas.

A metanogênese, etapa final no processo de degradação anaeróbia dos compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono, é efetuada pelas bactérias metanogênicas. As metanogênicas utilizam somente um limitado número de substratos, compreendendo ácido acético, hidrogênio, dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono. Em função de sua afinidade por substrato e magnitude de produção de metano, as metanogênicas são divididas em dois grupos principais, um que forma metano a partir de ácido acético (acetoclásticas) ou metanol, e o segundo que produz metano a partir de hidrogênio (hidrogenotróficas) e dióxido de carbono.

O processo de digestão anaeróbia pode incluir, ainda, outra fase, dependendo da composição química do dejetos a ser tratado. Dejetos compostos de enxofre são submetidos, na biometanização, à fase de sulfetogênese que consiste na redução de sulfato em sulfetos. O sulfato e outros compostos a base de enxofre são utilizados como aceptores de elétrons durante a oxidação de compostos orgânicos. Durante este processo, sulfato, sulfeto e outros compostos sulfurados são reduzidos a sulfeto, através da ação de um grupo de bactérias anaeróbias estritas, denominadas bactérias redutoras de sulfato (ou bactérias sulforedutoras). As bactérias sulforedutoras são consideradas um grupo muito versátil de microrganismos, capazes de utilizar uma ampla gama de substratos, incluindo toda a cadeia de ácidos graxos voláteis, diversos ácidos aromáticos, hidrogênio, metanol, etanol, glicerol, açúcares, aminoácidos, e vários compostos fenólicos. As bactérias sulforedutoras dividem-se em dois grandes grupos: bactérias sulforedutoras que oxidam seus substratos de forma incompleta até o acetato e, bactérias sulforedutoras que oxidam seus substratos completamente até o gás carbônico.

Estima-se que a digestão anaeróbia com formação de metano seja responsável pela completa mineralização de 5 a 10% de toda a matéria orgânica disponível na terra.

A conversão anaeróbica produz quantidade relativamente pequena de energia para os microorganismos, por isso, as suas velocidades de crescimento são pequenas e apenas uma pequena porção do resíduo é convertida em nova biomassa celular. Os diferentes tipos de microorganismos dependem uns dos outros para o seu crescimento, o que significa que dependem de cada uma das fases (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese) para o seu desenvolvimento,

No diagrama (Figura 2) abaixo é mostrado um esquema simplificado das etapas metabólicas

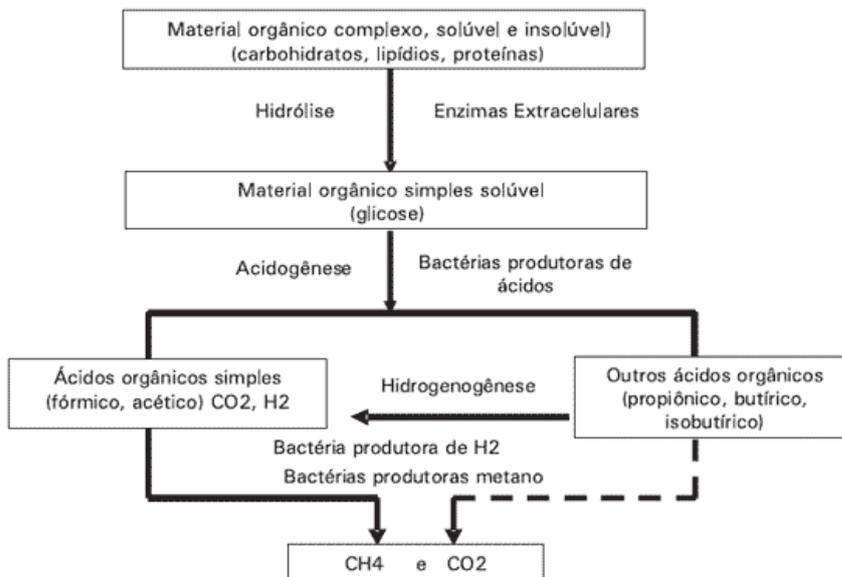


Figura 2. Etapas metabólicas do processo de digestão anaeróbica em biodigestor

Fonte: (SANTOS, 2001).

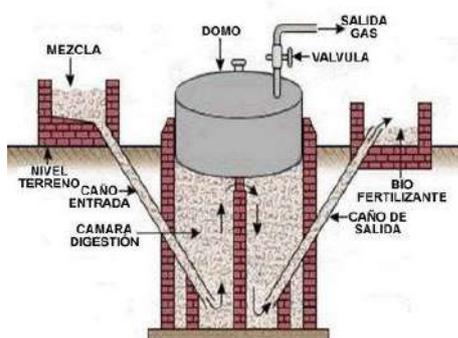


Figura 4 – Perspectiva lateral de um biodigestor tipo indiano

Fonte: (COUTO, J. e THOMAS, D., 2009)



Figura 5 – Foto de biodigestor em propriedade rural

Fonte: (COUTO, J. e THOMAS, D., 2009)

Para o dimensionamento do biodigestor é necessária a avaliação das variáveis: vazão de dejetos (m^3/dia), carga orgânica e tempo de retenção hidráulico (Tr).

Existem diversos modelos utilizados comercialmente e outros novos estão em estudos de diversas Universidades no Brasil.

Existe o modelo, de tipo horizontal, com largura maior que a profundidade e área de exposição ao sol é maior, o que favorece a produção de biogás. Tem cúpula de plástico maleável, tipo PVC, que infla com a produção de gás, como um balão. Pode ser construído enterrado ou não. A caixa de carga é feita em alvenaria, por isso pode ser mais larga evitando o entupimento. A cúpula pode ser retirada, o que ajuda na limpeza.

O Biodigestor Chinês é um modelo construído em alvenaria, de peça única e enterrado para ocupar pouco espaço. Foi desenvolvido na China, onde as propriedades eram pequenas. Este

modelo tem custo mais barato em relação aos outros, pois a cúpula é feita em alvenaria. Também sofrem pouca variação de temperatura.

O Biodigestor Indiano tem cúpula móvel, geralmente de ferro ou fibra. A cúpula se movimenta para cima e para baixo conforme a produção de biogás. Nesse tipo de biodigestor o processo de fermentação acontece mais rápido, pois aproveita a temperatura do solo que é pouco variável, favorecendo a ação das bactérias. Ocupa pouco espaço e a construção por ser subterrânea, dispensa o uso de reforços, tais como cintas de concreto. Caso a cúpula seja de metal, deve-se fazer uso de tinta antioxidante.

Nos modelos de biodigestores subterrâneos é preciso ter cuidado evitando infiltração no lençol freático. Existem biodigestores feitos em concreto, ou metal, coberto com lona vedada. Esta deve ter duas saídas, com duas válvulas, nas quais restos orgânicos são despejados.

Alguns cuidados devem ser atentados na escolha do local de instalação de um biodigestor. O local deve ser bastante arejado para evitar o acúmulo de gases e deve ser próximo ao local da fonte abastecedora de matéria orgânica, neste caso, próximo aos currais e instalações do confinamento.

Os Reatores Anaeróbicos de Fluxo Ascendente (RAFA) são tanques cilíndricos de fibra com altura e diâmetros dimensionados conforme a carga a ser recebida e ao tempo de permanência da carga. Recebem esse nome devido ao movimento ascendente do fluxo de recarga causado pelo formato cilíndrico e pela entrada da recarga. O movimento interno do material orgânico se dá por gravidade sem necessidade de bombas e isso desonera o sistema.

Possui três câmaras, uma de fermentação, uma de sedimentação e uma de gás. A alimentação se dá por regime contínuo e a drenagem do biofertilizante é realizada manualmente.

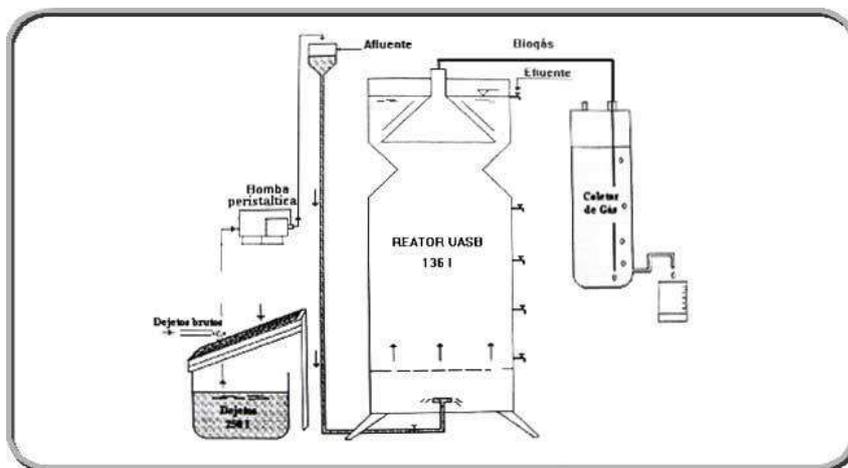


Figura 7 – Sistema de biodigestão anaeróbia do tipo RAFA



Figura 8 – Foto de biodigestor do tipo RAFA

Fonte: (COELHO, 2006)

Alguns cuidados devem ser tomados ao carregar ou limpar um biodigestor, pois o gás produzido nele é inflamável. Para evitar acidentes, é necessário verificar se houve o esvaziamento total do gás antes de fazer a limpeza do biodigestor.

O carregamento e a descarga de gás devem ser feitos simultaneamente, isso evita a modificação na pressão interna do gás e prejuízos para a produção.

Além disso, o biodigestor deve ser bem vedado para evitar a entrada de ar e o comprometimento da fermentação, e também, para evitar o vazamento de gás.

Outro fator a ser atentado é de que, além dos hidrocarbonetos, o biogás contém vapor d'água, CO₂ e gases corrosivos os quais podem reduzir a vida útil dos equipamentos na geração de energia (bombas, compressores, motores, geradores, etc.). Por esse motivo é necessário utilizar filtros e dispositivos de resfriamento, condensação e lavagem de gases para a remoção de água, gás sulfídrico, enxofre e outros elementos.

O gasômetro é parte do sistema de biodigestão, é um compartimento, usualmente fabricado em PVC, para o armazenamento do biogás produzido no biodigestor.

4.3. Cálculo de produção de biogás a partir de dejetos bovinos

A partir de dados coletados em estudos conduzidos por Campos (1998), em um sistema intensivo de produção de leite no Centro de Pesquisa de Gado de Leite da EMBRAPA de Juiz

de Fora/MG, Hardoim (1999) desenvolveu uma equação de estimativa de produção de metano:

$$\text{MET} = -1,5277 + 0,0726 \times \text{COV} + 0,0966 \times \text{TEMP} + 0,0812 \times \text{AGIT} + 0,0043 \times \text{TEMPCOV} \\ - 0,0242 \times \text{AGITCOV} - 0,0015 \times \text{TEMP}^2 - 0,0117 \times \text{COV}^2$$

onde,

COV = carga orgânica volumétrica, kg/m³.dia:

$$\text{COV} = \text{C} \times \text{Q}/\text{V}$$

$$\text{C} = \text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\text{Q} = \text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$$

$$\text{V} = \text{m}^3$$

MET= estimativa da produção volumétrica de metano do biodigestor, m³/m.d,

TEMP = temperatura do biodigestor, ° C,

AGIT = emprego da agitação (com = 1, sem = 0).

Tabela 2 – Rendimento do esterco em biogás e fertilizante

Capacidade de produção/dia	Esterco bovino/dia	Biogás (CH ₄)/dia	Fertilizante Líquido (l)	Rendimento Biogás (CH ₄)/m ³
2m ³	60/70kg	1,4m ³	52	0,7m ³
5m ³	150/170kg	3,5m ³	130	0,7m ³
10m ³	300/340kg	7,0m ³	260	0,7m ³
15m ³	450/515kg	10,5m ³	390	0,7m ³
20m ³	600/690kg	14,0m ³	520	0,7m ³
25m ³	750/850kg	17,5m ³	650	0,7m ³

Fonte: Emater/PR

Note que existe um coeficiente de rendimento de 0,7.

Tabela 3 – Dimensões do sistema de biodigestão

Capacidade do gasômetro	⊕ do biodigestor (fosso)	Altura do fosso	Altura da parede divisora	⊕ tubo guia (na parede divisória)	Caixa de entrada (caixa de mistura)
2 m ³	1.60 m	2.00 m	1.40 m	2.1/2"	1.00x1.00x0.50
5 m ³	2.20 m	2.80 m	1.90 m	2.1/2"	1.00x1.00x0.50
10 m ³	2.70 m	3.65 m	2.35 m	2.1/2"	1.10x1.10x0.85
15 m ³	3.00 m	4.40 m	2.95 m	3"	1.20x1.20x1.00
20 m ³	3.30 m	4.70 m	3.10 m	3"	1.50x1.50x1.00
25m ³	3.50 m	5.20 m	3.35 m	3"	1.60x1.60x1.00

Fonte: Manual do biogás (Emater/PR, 2010)

Segundo Krupp e Horn (2008), 600 vacas leiteiras produzem esterco suficiente para a produção de biogás para atender a demanda de cinco mil casas.

4.4. Vantagens da produção de biogás a partir de dejetos bovinos

A competitividade no agronegócio é cada vez mais evidente com o emprego de tecnologias diversas para o aumento da produtividade e, conseqüentemente, do retorno financeiro.

A busca por alternativas técnicas e economicamente viáveis que reduzam o custo final da produção é uma preocupação recorrente entre os produtores. A energia elétrica é um dos componentes de custo na produção e, portanto, a redução ou eliminação desse componente é interessante.

A produção de biogás a partir dos dejetos do confinamento de bovinos pode resultar em auto-suficiência energética e, também, gerar renda através da comercialização de créditos de carbono e da distribuição da energia excedente para a rede.

A idéia de produção energética descentralizada e independência energética por si só são atrativos para a implementação de um sistema como esses.

Já a possibilidade de redução de passivos (econômico e ambiental) e a geração de ativos como case de publicidade, subsídio para fomento do empreendimento, certificações (ISO 14001, por exemplo), bonificação em mercados específicos que valoram modelos de negócios sustentáveis, como o mercado europeu, também tornam a implementação atrativa.

Geração de energia elétrica a partir da combustão de biogás proveniente de esterco de confinamento da pecuária é, também, uma quebra de paradigma num setor extremamente tradicionalista como a pecuária no Brasil, apesar dos avanços no desenvolvimento das

técnicas empregadas na produção agrária no país, como o investimento em tecnologia e profissionais capacitados.

Ressalta-se que a recente crise energética e a alta dos preços do petróleo têm determinado uma procura por alternativas energéticas no meio rural (JUNIOR, 1994).

As vantagens de um sistema como esse são a baixa demanda de área, reduzindo os custos de implantação, produção de metano, um gás combustível de elevado teor calorífico, a partir de um material sem valor econômico e potencialmente poluente, sistema de baixo custo de implantação e operação, com demanda mínima de mecanização, possibilidade de aplicação em pequena escala (sistemas descentralizados) com pouca dependência da existência de grandes interceptores, possibilidade de recuperação de subprodutos úteis, visando sua aplicação na irrigação e na fertilização de culturas agrícolas.

O tratamento de dejetos por digestão anaeróbia possui várias outras vantagens, tais como a destruição dos organismos patogênicos e parasitas, utilização do metano como uma fonte de energia e capacidade de estabilizar grande volume de dejetos orgânicos diluídos.

5. GERAÇÃO DE ENERGIA

5.1. Geração de energia descentralizada / distribuída

O desenvolvimento das sociedades está intimamente ligado ao uso de energia sob várias formas. A garantia da existência das fontes energéticas e o acesso à energia é que permitem a sua consolidação.

A crescente preocupação em desenvolver tecnologias limpas de geração de energia com o objetivo de minimizar a dependência externa, diversificar a matriz energética, diminuir o uso de combustíveis fósseis (petróleo e carvão, principalmente), além de cumprir as metas de redução das emissões de GEE estabelecidas no Protocolo de Kyoto, permite discussões sobre alternativas de geração de energia.

A energia elétrica é a forma de energia com maior crescimento de demanda no mundo, devido ao aumento da população e ao desenvolvimento tecnológico contínuo. Além do que, o seu uso está amplamente difundido nas sociedades e nos setores da economia, o que torna todos dependentes de seu uso.

O modelo de grandes centrais de geração com extensas linhas de transmissão e distribuição de energia se consagrou com o desenvolvimento dos transformadores e o uso da corrente alternada que possibilitou o atendimento de cargas distantes do ponto de geração.

Assim, com o aumento na demanda, é necessária a construção de novas unidades de geração de grande porte, bem como o sistema que suporte a transmissão e distribuição desta nova parcela de energia gerada.

No Brasil, a maior parte da geração de energia elétrica é de origem hidráulica, o que explica o extenso sistema de transmissão necessário para levar esta energia aos centros consumidores. O racionamento de energia ocorrido em 2001 expôs a fragilidade do sistema de geração no país e levou à discussão as fontes alternativas de energia, inclusive a criação de diversos programas federais de incentivos.

Devido a esses fatores, a geração descentralizada, aquela cuja fonte geradora está próxima ao centro consumidor, e a geração distribuída, ou seja, geração descentralizada de energia elétrica, ligada ou não ao sistema de distribuição, pode ser alternativa viável devido ao baixo custo e à facilidade de operação.

No Brasil, a geração distribuída foi definida de forma oficial através do Decreto nº 5.163 de 30 de Julho de 2004, da seguinte forma

Art. 14. Para os fins deste Decreto, considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados (...), conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento:

I hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e

II termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, (...).

Parágrafo único. Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de eficiência energética prevista no inciso II do caput.

O PRODIST (Procedimentos de Distribuição) define geração distribuída como sendo geração de energia elétrica, de qualquer potência, conectadas diretamente no sistema elétrico de distribuição ou através de instalações de consumidores, podendo operar em paralelo ou de forma isolada e despachadas – ou não – pelo Operador Nacional de Sistema (ONS) (ANEEL, 2005).

Outras vantagens desse sistema são a diversificação das fontes e a descentralização da geração, facilitando, assim, a universalização do acesso à energia elétrica com a finalidade de inserção no sistema produtivo e econômico.

Esse conceito se aplica muito bem às áreas rurais e às comunidades isoladas. No Brasil, existem cerca de doze milhões de pessoas sem acesso à energia elétrica, sendo que cerca de dez milhões se encontram no meio rural (ROSSI, 2009).

O processo de descentralização da energia permite o uso de tecnologias disponíveis no mercado, que convertem energias de fontes renováveis em energia elétrica. Exemplos são os painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas, geração usando biogás, geração através de biomassa vegetal (cana de açúcar, biodiesel usando óleos vegetais, etc.). E, se operando em grupos motor-gerador diesel, ou outro combustível, e em dispositivos com boa eficiência, proporcionam confiabilidade, qualidade e segurança no fornecimento de energia elétrica.

5.2. Possibilidades de uso do biogás para a geração de energia

O biogás, por ser um combustível com elevado conteúdo energético, pode ser utilizado para a geração de energia em motores, turbinas a gás, microturbinas, ou ainda, ser queimado diretamente em caldeiras participando de sistemas de cogeração e em ciclos combinados do tipo Rankine.

Para determinar a destinação do combustível, é necessário que seja avaliada a composição química, seu poder calorífico e sua vazão. A partir daí, é possível direcionar seu potencial energético para a geração de diferentes tipos de energia, elétrica, mecânica e térmica.

Além disso, esses parâmetros permitem o dimensionamento dos processos de pré-tratamento do biogás, com a finalidade de minimizar danos aos equipamentos devido à presença de ácido sulfídrico (H_2S) e de umidade (COELHO et al, 2006)

A conversão da energia química do biogás para energia elétrica é feita através da transformação em energia mecânica a partir da combustão num motor, que ativa um gerador que converte a energia mecânica em energia elétrica.

O sistema de produção de biogás e energia é composto por confinamento, sistema de captação de dejetos (por gravidade ou bomba), biodigestor, gasômetro, sistema de abastecimento e drenagem de biogás, equipamentos para a conversão do biogás em energia, sistema de armazenamento e distribuição de biofertilizante.

5.3. Utilização da energia produzida a partir de dejetos bovinos em propriedades rurais

Segundo trabalho de pesquisa realizado por Hardoim e Gonçalves (2003), no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, em um confinamento de 100 vacas, um biodigestor pode produzir um volume de 118 m^3 de biogás. Com este volume é possível funcionar um grupo gerador de 15kVA e este atender com energia elétrica a demanda da ordenhadeira, do resfriador de leite, do triturador, do desintegrador, do misturador de ração e da bomba d'água. A demanda total de biogás do grupo gerador para funcionar estes equipamentos foi estimada em $85,3\text{m}^3$ de biogás, o que pode ser suprido com folga pelo biodigestor.

O biogás pode ser utilizado para outros fins que não seja, necessariamente, a conversão em energia elétrica, tais como a queima em lampiões, fogões, combustível para motores de

combustão interna em veículos, geladeiras, chocadeiras, secadores de grãos, secadores diversos, etc..

Na tabela 4 é possível verificar o consumo de biogás para diferentes atividades.

Tabela 4 Consumo de biogás estimado

Atividade	Consumo (m³)	Unidade de consumo
Cozinhar fogão a gás	0,33	Dia/pessoa
Iluminação com lampião	0,12	Hora/lampião
Refrigeração a gás	0,03	Pé ³ /hora
Chuveiro a gás	0,8	Banho/10min
Incubadora	0,71	M ³ de espaço/hora
Aquecimento de água	0,08	Litro/100°C
Motor Combustão	0,45	HP/hora
Gerador Eletricidade	0,62	1 kwh/hora

Fonte: (Emater/PR, 2010)

5.4. Rentabilidade através da produção de biogás

Exemplos de benefícios ambientais, econômicos e financeiros podem ser encontrados em diversos estudos de caso de produção de biogás.

Em 2007, 125 sistemas de biogás implantados nos EUA foram responsáveis pela redução de metano a partir de 80 mil toneladas de esterco, com um impacto equivalente de 1,7 milhões de toneladas de CO₂ e geração de 275 milhões KWh de energia. Cerca de 700 propriedades rurais puderam transformar em benefícios o esterco produzido, gerando 700MW de energia para áreas rurais enquanto capturavam 1,3 milhões de toneladas de metano (KRUPP e HORN, 2008).

A partir da vigência do protocolo de Quioto, em 1994, após a assinatura da Rússia, ficou estabelecido que os países que não conseguissem atingir as metas de redução de emissão de GEE poderiam comprar créditos de carbono no mercado global de países que possuíssem projetos de desenvolvimento de tecnologias limpas, no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Por exemplo, uma empresa alemã com permissão de emissão de 1 milhão de toneladas CO₂, mas que emitiu 1,2 milhões de toneladas tem a necessidade de comprar 200 mil toneladas de crédito no mercado global de carbono. Dessa forma é determinada, então, uma valoração financeira por tonelada de carbono que deixa de ser lançada na atmosfera.

Os projetos de MDL devem seguir diretrizes e orientações de um Conselho Executivo, estabelecido em 2001. As regras rígidas e a dificuldade de aprovação acabaram criando um mercado voluntário e auto-regulado de carbono, representado principalmente pela Bolsa de Chicago (Chicago Climate Exchange – CCX).

Na etapa piloto, de 2003 a 2006, as empresas deveriam reduzir suas emissões em 1% anualmente, até acumular 4%. Esse mercado de comercialização de carbono previa movimentar US\$ 13 bilhões em 2007 e está aberto à participação de países em desenvolvimento, ou nações sem compromisso de redução, como o Brasil.

Segundo trabalho desenvolvido pela Câmara de Mudanças Climáticas do CEBDS, a projeção é de que de 8% a 12% dos investimentos em MDL sejam canalizados para a América Latina com estimativa de 100 milhões de toneladas de carbono equivalentes, ou reduções de 3.670 bilhões de toneladas de CO₂. objeto de projetos de MDL na região para o período de 2008 a 2012 (CEBDS, 2009).

O relatório utiliza dados da Comissão Econômica para América Latina e Caribe (CEPAL) e do Banco Mundial para a América Latina (com o Brasil em destaque), e tem por base um cenário de comércio internacional de gases geradores de efeito estufa, sem restrições e sem a inclusão de projetos de sumidouros em MDL, as estimativas de volumes (expressos em milhões de toneladas de carbono equivalentes) e valores (expressos em dólares) podem ser ilustradas conforme aparece na tabela 5:

Tabela 5 - Estimativa de volumes de mercado de MDL (América Latina e Brasil)

			Volumes América Latina	Volume Brasil	Volume América Latina	(US\$) Volume Brasil
Nível	Baixo	de	31	1	400	10
Implementação						
Nível	Médio	de	55	6	2000	300
Implementação						
Nível	Esperado	de	103	22	3400	890
Implementação						

Fonte: Grutter (National Strategy Study - Banco Mundial – cert)

Sendo assim, uma das vias de rentabilidade da produção de biogás é a comercialização de créditos de carbono através de MDL.

E, ainda, a distribuição na rede do excedente de energia elétrica gerada.

6. CONCLUSÃO

É evidente o aumento das preocupações mundiais em relação aos impactos ambientais causados pelo crescimento econômico. Haja vista a quantidade de eventos e conferências nacionais e internacionais que têm ocorrido para o debate de alternativas sustentáveis para o desenvolvimento e os acordos de cooperação firmados entre os países.

Muitos estudos e relatórios publicados de órgãos públicos, privados e de Organizações Não Governamentais (ONG) apontam para o aumento da demanda energética mundial e para a escassez dos recursos naturais devido a esse crescimento. A demanda energética deverá ser suprida por países em desenvolvimento com acesso às novas tecnologias, como o Brasil.

A preservação dos recursos naturais e ecossistemas para a manutenção do equilíbrio climático do planeta é parte dos interesses dos governantes mundiais, pois os efeitos causados pela desordem de eventos climáticos acarretam prejuízos econômicos, como o aparecimento de novas pragas, a destruição de cidades, portos, entre outros.

Sob esse ponto de vista que conjuga crescimento econômico e preservação ambiental, o Brasil se destaca por ser um dos poucos países que ainda tem parte de sua biodiversidade e seus recursos naturais preservados e mostra, nos últimos anos, que tem políticas econômicas bastante sólidas para o desenvolvimento.

Esses motivos têm atraído a atenção mundial de diferentes públicos, entre eles ambientalistas e investidores estrangeiros, estes últimos interessados, principalmente, na produção de etanol obtido a partir da cana-de-açúcar.

O Brasil tem muitas fontes de energia renováveis e os incentivos financiados pelo Governo Federal (BIODIESEL e PROINFA) têm estimulado a pesquisa para o desenvolvimento de tecnologias para a sua utilização.

Soma-se a isso, a extensa área agricultável e a aptidão para a produção de commodities (soja, carne, etanol – com tendências à comoditização – entre outros produtos), o Brasil é alvo também de questionamentos quanto à sustentabilidade de seus agronegócios, sejam eles, a produção de etanol a partir da monocultura de cana-de-açúcar, seja a produção de soja e carne bovina em áreas de preservação permanente.

É inegável a aptidão para o agronegócio. A capacitação técnica aliada ao desenvolvimento de novas biotecnologias e técnicas resultaram, em poucos anos, no aumento da produtividade, na melhora do desempenho e na eficiência dos sistemas de produção rural.

Por outro lado, a aplicação e popularização dessas novas tecnologias no campo agrônomo e zootécnico (plantas transgênicas, confinamento, melhoramento genético fito e zootécnico, entre outros) acarretaram em expansão das fronteiras agrícolas (soja no cerrado) e intensificação nos sistemas de produção animal (aves, bovinos, suínos).

Isso resultou em expansão desordenada com desflorestamentos, ocupação de biomas vulneráveis (cerrado) e produção de resíduos potencialmente impactantes ao meio ambiente.

Atualmente, tem se discutido a legitimidade dessas ocupações e buscado alternativas que conjuguem a produção agropecuária e a preservação do meio ambiente.

Em busca de aumento de produtividade uma das atividades rurais que vem crescendo no Brasil é a produção de bovinos em sistemas de confinamento. O Brasil é, atualmente, o maior exportador mundial de carne bovina e de aves, e o sistema de confinamento permite melhor controle da produção, maior produtividade e produção na entressafra.

Por outro, quando se intensifica a produção, reduzindo o tempo e o espaço para a terminação dos animais, gera-se um acúmulo de resíduos que se não tratados adequadamente têm grande potencial poluente ao meio ambiente. No entanto, esses resíduos (camas, fezes e urina) são fontes de geração de energia.

O desenvolvimento de tecnologias para o tratamento e utilização dos resíduos é o grande desafio para as regiões com alta concentração de produção pecuária, seja ela de bovinos ou outras espécies de interesse zootécnico.

Contudo, como é mostrado nesse estudo, existem tecnologias simples que podem ser implantadas para o aproveitamento desses resíduos para a produção de energia, como os biodigestores para a produção de biogás.

Se de um lado há a pressão pelo aumento da produtividade e, do outro, que esse aumento não provoque a destruição do meio ambiente, é necessário, então, que sejam aplicadas técnicas de produção que minimizem os impactos e gerem retorno financeiro para serem atrativas ao produtor.

A utilização de biodigestores para a produção de biogás como forma de gerar energia a partir do esterco pode ser viável tanto econômica quanto ambientalmente.

Além disso, a possibilidade de se produzir energia a partir desse dejetos nos aponta para uma alternativa sustentável, já que destina adequadamente esse material potencialmente poluente para uma finalidade nobre: a produção de energia.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. **Investimento em energia renovável cai com a crise**, artigo publicado em 26 de agosto de 2009. Disponível em:

<http://www.anba.com.br/noticia_agroenergia.kmf?cod=8828625>. Acesso em 19 mai 2010.

ANEEL. **Geração distribuída**. 2005. Disponível em: (<http://www.aneel.gov.br>). Acesso em 27 mai 2010.

ANUALPEC,2002. Disponível em:

<<http://www.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/biblio/alerta/revistas/anualpec/2000.html>>.

Acesso em 10 fev 2010.

BBC BRASIL. **China é 2ª em investimento em energia renovável**. Artigo publicada em 01 de agosto de 2008. Disponível em:

<http://oglobo.globo.com/ciencia/mat/2008/08/01/china_2_em_investimento_em_energia_renovavel_diz_estudo-547523338.asp>. Acesso em 19 mai 2010.

BIODIESELBR.COM, **Biogás: considerações gerais**. Disponível em:

<<http://www.biodieselbr.com/energia/biogas/biogas.htm>>. Acesso em 10 mai 2010

CÂMARA DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS DO CEBDS. **Mercado de Carbono**. Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável, trabalho desenvolvido pelo Rio de Janeiro, Brasil.

CASTRO, Nivaldo José de, DANTAS, Guilherme de A. **O Planejamento do Setor Elétrico Brasileiro o Contexto Mundial de Mudanças Climáticas. Economia e Energia**. Disponível em:

<http://ecen.com/eee76/ecen_76p.htm>. Acesso em: 15 mar 2010.

CEBDS, Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável, **Energia e Mudança do Clima**, 2009. Disponível em:

<<http://www.cebds.org.br/cebds/Noticias.asp?ID=402&bc=1>>. Acesso em 07 de set 2010.

CERPCH, Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas, **Biodigestor**. Disponível em:

<http://www.cerpch.unifei.edu.br/biodigestor.php>. Acesso em 07 set 2010.

COELHO, Suani Teixeira, VELÁZQUEZ, Silvia Maria Stortini González, PECORA, Vanessa, Abreu, Fernando Castro de. **Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás proveniente do tratamento de esgoto**. Trabalho publicado e apresentado no: XI Congresso Brasileiro de Energia (CBE) 16 a 19 de agosto de 2006, Rio de Janeiro. Brasil.

COUTO, Jeferson. THOMAS, Demetrio, **Biodigestores**, Universidade de Santa Cruz do Sul, 2009. Disponível em:

<http://biodigestao-engenharia-ambiental.blogspot.com/>. Acesso em 07 set 2010.

EMATER PR, **Biogás**. Disponível em: (<http://www.emater.pr.gov.br>). Acesso em 27 mai 2010.

EMBRAPA GADO DE CORTE. Disponível em:

<<http://www.cnpqc.embrapa.br/>>. Acesso em: 28 ago de 2009.

FAUSTINO, L.S.M.; TRAJANO, M.F.; MELLO, V.S.; JÚNIOR, I.B.M. TORRES, T.F.T.O. **Produtores de gado trabalhando alternativa para produção de energia biológica**. 2°. BIOCUM – Simpósio Nacional de Biocombustíveis, Recife, 2009.

GOVERNO FEDERAL. **Programa nacional de produção e Uso de Biodiesel**. Disponível em:

<<http://www.biodiesel.gov.br/>>. Acesso em 20 mai 2010.

HARDOIM, Paulo Cesar. GONÇALVES, Adriano Dicesar M. A. **Avaliação do potencial do emprego do biogás nos equipamentos utilizados em sistemas de produção de leite**. Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, 2003.

HASHIMOTO e ROBINSON (1985) apud FILHO, Cecilio Viegas Soares, **Manejo de dejetos de bovinos**, Brasil.

JONES, L. M., 1992 APUD MANSO, Kennia Regina de Jesus, FERREIRA, Osmar Mendes. **Confinamento de bovinos: estudo do gerenciamento dos resíduos**. Goiânia, Universidade Católica de Goiás, Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental, 2007.

JUNIOR, Lucas. **Biogás**. 1994. Disponível em:

<<http://www.biodieselbr.com/energia/biogas/biogas.htm>>. Acesso em 10 mai 2010.

JUNIOR, Orlando Lisita. **Sistemas fotovoltaicos ligados a rede: estudo de caso de 3kWp instalados no estacionamento do IEE-USP**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

KIEHL, 1985 APUD FILHO, Cecilio Viegas Soares. **Manejo de dejetos de bovinos**. São Paulo, Brasil.

KIEHL, 1997 APUD FILHO, Cecilio Viegas Soares. **Manejo de dejetos de bovinos**. São Paulo, Brasil.

KONWTON e HERBEIN APUD PEDREIRA, Marcio dos Santos, PRIMAVESI, Odo, **Nutrição de Ruminantes**, Jaboticabal: Funep, 2006

KRUPP, Fred, HORN, Mirian. **Earth, the sequel: race to reivent energy and stop global warming**. W.W. Norton & Company, New York, 2008.

MANSO, Kennia Regina de Jesus, FERREIRA, Osmar Mendes. **Confinamento de bovinos: estudo do gerenciamento dos resíduos**. Goiânia, Universidade Católica de Goiás, Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental, 2007.

MCT, 2000 APUD PEDREIRA, Marcio dos Santos, PRIMAVESI, Odo, **Nutrição de Ruminantes**, Jaboticabal: Funep, 2006

MEIRA, Sandro, **Entenda o que é o Clube de Paris**, 2008. Disponível em:

<http://sandromeira12.wordpress.com/2008/09/03/entenda-o-que-e-o-clube-de-paris/>. Acesso em 07 set 2010.

MELO, 1986 APUD MANSO, Kennia Regina de Jesus, FERREIRA, Osmar Mendes, **Confinamento de bovinos: estudo do gerenciamento dos resíduos**, Goiânia, Universidade Católica de Goiás, Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental, 2007.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Biodigestores**. Disponível em:

<<http://www.cerpch.unifei.edu.br/biodigestor.php+tipos+de+biodigestores&cd=8&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>>. Acesso em 12 mai 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **O PROINFA**. Disponível em:

<<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa>>. Acesso em 10 jan 2010.

NRC, 2001 APUD PEDREIRA, Marcio dos Santos, PRIMAVESI, Odo, **Nutrição de Ruminantes**, Jaboticabal: Funep, 2006

PAULO e HELIO, 2001 apud MANSO, Kennia Regina de Jesus, FERREIRA, Osmar Mendes, **Confinamento de bovinos: estudo do gerenciamento dos resíduos**, Goiânia, Universidade Católica de Goiás, Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental, 2007.

PEREIRA, 1992 APUD MANSO, Kennia Regina de Jesus, FERREIRA, Osmar Mendes. **Confinamento de bovinos: estudo do gerenciamento dos resíduos**. Goiânia, Universidade Católica de Goiás, Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental, 2007.

ROSSI, Luiz Antonio. **Aspectos da geração descentralizada ou dispersa de energia elétrica no meio rural e as fontes renováveis de energia**, Faculdade de Engenharia Agrícola e Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, UNICAMP, Campinas, Brasil, 2009.

SANTOS, João Antonio. **Manuais Práticos – Vida, UM GUIA DE AUTO-SUFICIÊNCIA – “ É fácil construir um biodigestor”**. Editora Três, São Paulo, SP.

SANTOS. **Biogás**. 2001. Disponível em:

<<http://www.biodieselbr.com/energia/biogas/biogas.htm>>. Acesso em 10 mai 2010.

TAMMINGS, 1992; TAMMINGS, 1996 APUD PEDREIRA, Marcio dos Santos, PRIMAVESI, Odo, **Nutrição de Ruminantes**, Jaboticabal: Funep, 2006.

VAN HAANDEL & LETTINGA et AL, 1996 APUD OLIVEIRA, Roberto A. de, FORESTI, Eugênio. **Balço de massa de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (uasb) tratando águas residuárias de suinocultura.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, 2004.

WORLD ENERGY OUTLOOK, 2007.

WORLD INVESTMENT OUTLOOK, 2003.

ZILLES, Roberto. **Energia solar para o desenvolvimento sustentável – Sistemas Fotovoltaicos, aplicações da energia solar fotovoltaica.** São Paulo, 2009.