

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

VIABILIDADE DO USO DO BIOGÁS DA BOVINOCULTURA E
SUINOCULTURA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E
IRRIGAÇÃO EM PROPRIEDADES RURAIS

ANDERSON COLDEBELLA

CASCADEL – Paraná - Brasil

Junho – 2006.

ANDERSON COLDEBELLA

**VIABILIDADE DO USO DO BIOGÁS DA BOVINOCULTURA E
SUINOCULTURA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E
IRRIGAÇÃO EM PROPRIEDADES RURAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Sistemas Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza.

CASCADEL – Paraná - Brasil

Julho – 2006.

ANDERSON COLDEBELLA

“Viabilidade do uso do Biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação “stricto sensu” em Engenharia Agrícola – área de concentração em Engenharia Sistemas Agroindustriais, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, pela comissão formada pelos professores:

Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof. Dr. José Airton Azevedo dos Santos
UTFPR – Medianeira - PR

Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof. Dr. Suedêmio de Lima Silva
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Cascavel, 27 de julho de 2006.

À minha esposa Priscila Ferri,
Aos meus pais Adilso Antonio e Nelsi Salete Coldebella,
Aos meus irmãos Thiago e Gustavo Rodrigo Coldebella,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Priscila Ferri, pelo companheirismo, incentivo e amor.

À minha família, pela motivação nas horas difíceis.

Ao amigo Evandro Marcos Kolling, pelo incentivo, motivação e apoio.

Ao meu orientador Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza, pela oportunidade, confiança e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *campus* de Cascavel, pela oportunidade, ensino de qualidade e disponibilidade dos equipamentos utilizados para o experimento.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos concedida durante parte do curso de pós-graduação.

Aos Srs. Nestor Inácio Simonetto (*in memoriam*) e Arnaldo Bombardelli, pela disponibilidade de suas instalações para realização deste trabalho.

Ao Engenheiro Mecânico Juliano de Souza, pelo apoio e disponibilidade de equipamentos para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
RESUMO x	
ABSTRACT.....	xi
<u>1 INTRODUÇÃO.....</u>	<u>xii</u>
<u>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</u>	<u>1</u>
<u>2.1 FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA.....</u>	<u>1</u>
<u>2.2 FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA</u>	<u>2</u>
<u>2.3 BIOMASSAS.....</u>	<u>4</u>
<u>2.4 A SUINOCULTURA NO PARANÁ.....</u>	<u>5</u>
<u>2.5 A BOVINOCULTURA DE LEITE NO PARANÁ.....</u>	<u>6</u>
<u>2.6 ORIGEM DO BIOGÁS.....</u>	<u>8</u>
<u>2.7 BIODIGESTORES</u>	<u>11</u>
<u>2.8 BIOGÁS 12</u>	
<u>2.9 UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS.....</u>	<u>14</u>
<u>2.10 COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....</u>	<u>16</u>
<u>2.11 BIOFERTILIZANTE.....</u>	<u>17</u>
<u>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</u>	<u>21</u>
<u>3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS PROPRIEDADES.....</u>	<u>21</u>
<u>3.2 CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS....</u>	<u>22</u>
<u>3.3 CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS.....</u>	<u>24</u>
<u>3.4 O CONJUNTO MOTOR-GERADOR.....</u>	<u>25</u>
<u>3.5 O CONJUNTO MOTOR-BOMBA (IRRIGAÇÃO).....</u>	<u>27</u>
<u>3.6 DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE BIOGÁS (M³/HP/H) PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E PARA IRRIGAÇÃO..</u>	<u>29</u>
<u>3.7 EFICIÊNCIA DA CONVERSÃO DO BIOGÁS EM ENERGIA ELÉTRICA</u>	<u>32</u>

<u>3.8 ANÁLISE ECONÔMICA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</u>	
<u>VIA BIOGÁS.....</u>	<u>33</u>
<u>3.9 UTILIZAÇÃO DO BIOFERTILIZANTE.....</u>	<u>36</u>
<u>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</u>	<u>38</u>
<u>5 CONCLUSÕES.....</u>	<u>52</u>
<u>REFERÊNCIAS.....</u>	<u>54</u>

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Rebanho suíno dos principais estados brasileiros - 2003.....	6
Tabela 2 - Produção leiteira no Paraná - 1998.....	8
Tabela 3 Composição do biogás.....	13
Tabela 4 Equivalência energética do biogás com outras fontes de energia.....	13
Tabela 5 - Consumo de biogás por aparelho.....	15
Tabela 6 - Principais componentes do biofertilizante.....	20
Tabela 7 - Produção de resíduos e as principais características físico-químicas para algumas espécies pecuárias.....	23
Tabela 8 - Produção de biogás a partir de resíduos pecuários.....	24
Tabela 9 - Conteúdo médio de nutrientes NPK em dejetos de suínos, de acordo com o teor de sólidos.....	37
Tabela 10 - Tomadas de tempo para o abastecimento do gasômetro e tempos de funcionamento do equipamento com biogás da bovinocultura.....	39
Tabela 11 - Tomadas de tempo para o abastecimento do gasômetro e tempos de funcionamento do equipamento com biogás da suinocultura.....	39
Tabela 12 - Consumo de biogás m ³ /HP/h para cada equipamento e produção de energia elétrica (kWh/m ³), com biogás da bovinocultura.....	41
Tabela 13 - Consumo de biogás m ³ /HP/h para cada equipamento e produção de energia elétrica (kWh/m ³), com biogás da suinocultura.....	41
Tabela 14 - Custo do Biogás (m ³), de acordo com o tempo de amortização do investimento para bovinocultura e suinocultura.....	43
Tabela 15 - Custo da eletricidade (MWh) para a propriedade 1, com biogás da bovinocultura, de acordo com o tempo de amortização e o tempo de operação do gerador.....	45
Tabela 16 - Custo da eletricidade (MWh) para a propriedade 2, com biogás da suinocultura, de acordo com o tempo de amortização e tempo de operação do gerador.....	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fontes renováveis de energia no Brasil.....	3
Figura 2 - Principais opções para utilização/conversão do biogás.....	14
Figura 3 - Quadro de comando (Esquema ilustrativo).....	26
Figura 4 - Conjunto motor-gerador utilizado na propriedade 1, operando com biogás da bovinocultura.....	26
Figura 5 - Conjunto motor-gerador utilizado na propriedade 2, operando com biogás da suinocultura.....	27
Figura 6 - Conjunto motor-bomba utilizado para irrigação na propriedade 1, operando com biogás da bovinocultura.....	28
Figura 7 - Conjunto motor-bomba utilizado para irrigação na propriedade 2, operando com biogás da suinocultura.....	29
Figura 8 - Abastecimento do compressor de ar com biogás.....	30
Figura 9 - Esquema utilizado para abastecimento do gasômetro com biogás.....	31
Figura 10 - Gasômetro abastecido com biogás.....	32
Figura 11 - Tempo de retorno do investimento para a propriedade 1, com biogás da bovinocultura para produção de energia elétrica.....	47
Figura 12 - Tempo de retorno do investimento para a propriedade 2, com biogás da suinocultura para produção de energia elétrica.....	47
Figura 13 - Tempo de retorno do investimento para as propriedades 1 e 2 utilizando o biogás no sistema de irrigação.....	48
Figura 14 - Tempo de retorno do investimento para a propriedade 1, com biogás da bovinocultura para produção de energia elétrica e irrigação.....	49
Figura 15 - Tempo de retorno do investimento para a propriedade 2, com biogás da suinocultura para produção de energia elétrica e irrigação.....	50

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a viabilidade do uso do biogás proveniente das atividades de bovinocultura de leite e suinocultura em conjuntos motor gerador e motor bomba para irrigação em propriedades rurais. O experimento foi realizado no município de Toledo/PR, em duas propriedades, uma com as atividades voltadas para bovinocultura de leite com 130 cabeças em regime de confinamento e outra com as atividades voltadas a suinocultura trabalhando como unidade produtora de leitões com um plantel de 1.000 matrizes. Ambas as propriedades utilizam biodigestores para tratamento dos efluentes gerados e tem como subprodutos o biogás e o biofertilizante. Para determinar o consumo de biogás por HP/hora foi utilizado um compressor para abastecer uma bolsa denominada de gasômetro. Com a quantidade de biogás conhecida dentro do gasômetro o mesmo foi conectado aos motores que permaneceram em funcionamento até consumir todo biogás. Para o biogás da bovinocultura o consumo foi de 0,981m³/HP/hora para o conjunto motor bomba e de 2,77m³/HP/hora para o conjunto motor gerador, enquanto que para o biogás de suinocultura o consumo foi de 1,113m³/HP/hora e 0,791m³/HP/hora para gerador e bomba respectivamente. A eficiência para produção de energia foi de 4,14% para o biogás de bovinos e de 10,3% para o biogás de suínos. Considerando o tempo de amortização de 10 anos o custo do biogás foi de R\$ 0,229 por m³ para bovinos e de R\$ 0,063 por m³ para suínos. O custo da energia elétrica gerada está em função do aproveitamento da capacidade da planta e do custo do biogás, para o biogás da bovinocultura o custo da energia gerada foi de R\$ 465,07 por MWh e para o biogás de suinocultura o custo foi de R\$ 90,86 por MWh considerando que ambas as plantas estejam operando durante 10 horas diárias. O tempo de retorno do investimento depende do investimento inicial e do valor da tarifa de energia elétrica cobrada pela concessionária, com uma tarifa de R\$ 300,00 por MWh operando o sistema de geração por 4 horas diárias e considerando a economia gerada com o sistema de irrigação o tempo de retorno encontrado foi de 4,3 e 6,7 anos para bovinos e suínos respectivamente. Além disso, o biofertilizante gerado pelos bovinos pode fertilizar 37 ha/ano e o gerado pelos suínos 480 ha/ano. Apesar dos baixos níveis de eficiência para geração de energia o tempo de retorno do investimento é razoável e pode se tornar menor se for considerada a economia gerada pelo uso do biofertilizante.

Palavras-chave: custo do biogás, custo da energia elétrica, eficiência e tempo de retorno.

ABSTRACT

THE VIABILITY OF USING BIOGAS FROM BOVINE CULTURE AND SWINE CULTURE TO THE GENERATION OF ELECTRIC POWER AND IRRIGATION FOR RURAL PROPRIETIES

The present work had as an objective to evaluate the viability of the use of biogas proceeding from the activities of bovine culture of milk and swine culture in sets motor generator and motor bomb to the irrigation in agricultural properties. The experiment was done in the city of Toledo/PR, in two different properties, one with its activities directed to the bovine culture of milk with 130 animals in a regimen of confinement and the other property with its activities directed to the swine culture, working as a pig producer unit with a breeding of 1,000 breeders. Both of the properties use biodigestors to the treatment of the generated effluents and they have as byproducts the biogas and the biofertilizer. To establish the consumption of biogas per HP/hour it was used a compressor to supply a bag named gas-tank. With the amount of biogas known inside the gas-tank, it was connected to the engines, which remained working until the consumption of all the biogas. To the biogas from the bovine culture the consumption was of 0,981 m³/HP/hour to the set of motor bomb and of 2,77 m³/HP/hour to the set of motor generator, while that for the biogas from swine culture the consumption was of 1,113 m³/HP/hour and 0,791 m³/HP/hour to motor generator and motor bomb respectively. The efficiency to the power production was of 4.14% to the biogas from bovines and of 10,3% to the biogas from swines. Considering the time of amortization of 10 years, the cost of the biogas was of R\$ 0,229 / m³ for bovines and of 0,063 / m³ for swines. The cost of the electrical power generated is related to the applying of the capacity of the plan and to the cost of biogas, to the biogas from the bovine culture the cost of the generated power was of R\$ 465,07/MWh and to the biogas from swine culture the cost was of R\$ 90,86/MWh, considering that both of the plans be operating fir 10 hours a day. The time of return for the investment depends on the initial investment and on the price of the electric power charged by the power company, with a tariff of R\$ 300,00/MWh operating the generation system for four hours a day and considering the economy generated with the irrigation system, the time of return found was of 4.3 and 6.7 years to bovines and swines respectively. Besides that, the biofertilizer generated from bovines can fertilize 37 hectares a year and the biofertilizer generated from swines can fertilize 480 hectares a year. Despite the low levels of efficiency to power generation, the time of investment return is reasonable and it can become shorter if the economy generated by the use of the biofertilizer is considered.

Key words: Cost of biogas, cost of electric power, efficiency and time of return.

1 INTRODUÇÃO

Os países desenvolvidos têm sua economia baseada em uma fonte de energia de origem fóssil que, até há pouco tempo, era considerada quase inesgotável: o petróleo, porém, a necessidade de atender a um alto consumo de energia tem mostrado que alguns dos recursos naturais são finitos e que podem chegar a desaparecer. Por essa razão, a busca constante por fontes alternativas de energia, produzidas a partir de recursos naturais renováveis, tem se intensificado.

A evolução do setor agrícola tem ocorrido a partir de conquistas tecnológicas que são dependentes de alguma forma de energia, dentre elas, as fontes convencionais mais utilizadas são a energia elétrica que tem um custo elevado e os derivados de petróleo que, por sua vez, vem se esgotando com o alto consumo, gerando oscilações de preço e insegurança quanto ao seu fornecimento no futuro, além de ser altamente poluente (KOLLING, 2001).

Segundo SOUZA et al. (2004), o Brasil já apresenta tradição no uso de fontes renováveis de energia, com destaque para energia elétrica que, atualmente, é responsável por mais de 80% de toda eletricidade consumida no país, seguida pelo etanol, um derivado da cana-de-açúcar que pode ser utilizado puro ou misturado à gasolina (derivado do petróleo).

Algumas fontes renováveis de energia já estão sendo utilizadas, porém existem ainda fontes pouco exploradas, tais como: a energia solar, energia eólica e a biomassa. A biomassa é definida como qualquer material que tem a propriedade de se decompor por efeito biológico, isto é, pela ação de diferentes tipos de bactérias. Por se tratar de um país tropical, o Brasil apresenta alto potencial para produção de biomassa vegetal, além da produção de resíduos industriais e dejetos gerados pelas atividades agroindustriais.

A região oeste de Paraná destaca-se pela produção agroindustrial, porém, com o aumento da demanda por esse tipo de produto e o conseqüente aumento da produção, a geração de esterco, seja de bovinos, suínos, aves ou de qualquer outro tipo de animal, vem se tornando um sério problema ambiental. Por outro lado, esses dejetos são importantes matérias-primas para produção de biogás, um combustível semelhante ao gás natural que pode ser convertido em energia elétrica, térmica ou mecânica dentro da propriedade agrícola, reduzindo inclusive os seus custos de produção.

Quando manuseados e tratados de forma inadequada, os efluentes produzidos por sistemas de produção animal tornam-se uma fonte de contaminação do meio ambiente, porém, o manejo correto desses resíduos pode reduzir os impactos ambientais, reciclando o efluente que pode ser usado como biofertilizante e produzindo o biogás que é uma fonte de energia alternativa.

O Brasil possui o terceiro maior rebanho suíno do mundo com, aproximadamente, 35 milhões de cabeças. São mais de 192 milhões de m³/ano de água demandada pelo setor de produção que está concentrado, basicamente, na Região Sul e gera mais de 100 milhões de m³/ano de efluentes (JARDIM, 2005). Esses efluentes, quando despejados na natureza, sem tratamento prévio, tornam-se uma importante fonte de poluição para os recursos hídricos, para a terra e para o ar. A grande densidade de suínos da região Sul do Brasil gera preocupação quanto à utilização dos dejetos produzidos.

Os sistemas de confinamento de bovinos leiteiros também geram um considerável volume diário de dejetos, que são compostos orgânicos de alto teor energético, ricos em matéria orgânica e agentes patogênicos (AMARAL; AMARAL; LUCAS JUNIOR, 2004). Esses dejetos são utilizados, freqüentemente, como fontes de adubação de forragens, porém, quando aplicados sem nenhum tratamento têm alto potencial poluidor.

O processo de biodigestão anaeróbica é uma das alternativas utilizadas para o tratamento de resíduos, pois reduz o seu potencial poluidor, produz biogás e permite o uso do efluente como biofertilizante.

Considerando esse conjunto de fatores e a necessidade de fontes alternativas de energia, a geração de energia elétrica com uso de biogás vem sendo desenvolvida. Por isso é importante e necessário determinar o consumo de biogás por kWh de energia produzida, para que seja possível otimizar o sistema, reduzindo o custo da produção de energia.

Considerando a realidade e as necessidades apontadas acima, foi estabelecido como objetivo geral desta pesquisa avaliar a viabilidade do uso do biogás proveniente das atividades de suinocultura e bovinocultura em conjuntos motor-gerador e motor-bomba, instalados em propriedades rurais e, como objetivos específicos: determinar o consumo de biogás para esses equipamentos; quantificar a eficiência da produção de energia elétrica; determinar o custo da energia gerada; calcular o tempo de retorno do investimento; e calcular a área agrícola necessária para absorver o biofertilizante produzido.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA

A necessidade de atender à demanda energética nas diversas áreas, causando o mínimo de impacto ambiental e/ou social, torna necessária a busca e exploração de fontes energéticas alternativas. As tecnologias que convertem a energia disponível na natureza, seja do vento, da água, do sol ou dos combustíveis fósseis, permitem também que o homem aumente sua capacidade de trabalho (GADANHA et al., 1991).

No setor agrícola, o aumento na produção de alimentos está diretamente relacionado à capacidade de produção de energia (KOLLING, 2001). Para LORENZO (1994), a eficiência energética, a redução no consumo e o atendimento futuro da demanda, devem ser baseados em fontes renováveis, que formarão o alicerce da matriz energética mundial.

De acordo com PALZ (1995), o aproveitamento da biomassa, do vento, do sol e de pequenos potenciais hidráulicos são as fontes alternativas mais promissoras. Para SOUZA (1993), o aproveitamento desses potenciais surge como alternativa não poluente e economicamente viável em determinadas condições para atividades agrícolas.

2.2 FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

A participação das fontes renováveis de energia na matriz energética global vem se tornando cada vez mais relevante. A crescente preocupação com as questões ambientais e o consenso mundial sobre a necessidade da promoção do desenvolvimento em bases sustentáveis vêm estimulando a realização de pesquisas de desenvolvimento tecnológico que vislumbram a incorporação dos resultados dessa aprendizagem e a conseqüente redução dos custos de geração dessas tecnologias.

As discussões sobre o fornecimento de energia e os problemas de ordem ambiental e social, relacionados à dependência dos combustíveis fósseis, têm contribuído para o aumento do interesse mundial na busca por soluções sustentáveis de geração de energia oriunda de fontes limpas e renováveis. Nesse contexto, o Brasil tem se destacado por sua liderança nas principais frentes de negociação, devido à participação das fontes renováveis de energia em sua matriz energética.

O Brasil apresenta uma situação privilegiada em termos de utilização de fontes renováveis de energia. 43,6% da Oferta Interna de Energia (OIE) no Brasil é de fonte renovável (Figura 1), enquanto a média mundial é de 14% e nos países desenvolvidos é de somente 6%. A OIE, também denominada de matriz energética, representa toda a energia disponibilizada para ser transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos.

O desenvolvimento dessas fontes ingressa em uma nova etapa no Brasil, com a implantação do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, criado no âmbito do Ministério de Minas e Energia - MME pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, revisada pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003. A iniciativa, de caráter estrutural, vai alavancar os ganhos de escala, a aprendizagem tecnológica, a competitividade industrial nos mercados interno e externo e, sobretudo, a identificação e a apropriação dos benefícios técnicos, ambientais e socioeconômicos na definição da competitividade

econômico-energética de projetos de geração que utilizem fontes limpas e sustentáveis (MME, 2005).

Dentre as fontes renováveis de energia, no Brasil, destacam-se as Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCHs, biomassa e energia eólica. As PCHs são usinas com potência instalada superior a 1 MW e igual ou inferior a 30 MW que, geralmente, procuram atender demandas próximas aos centros de carga e, para entrarem em funcionamento, devem atender às exigências da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Atualmente, de acordo com a ANEEL, tem-se autorização para 3.669,30 MW em PCHs. De acordo com o MME, o Brasil tem potencial para 9.800 MW em pequenos aproveitamentos hidráulicos (MME, 2005).

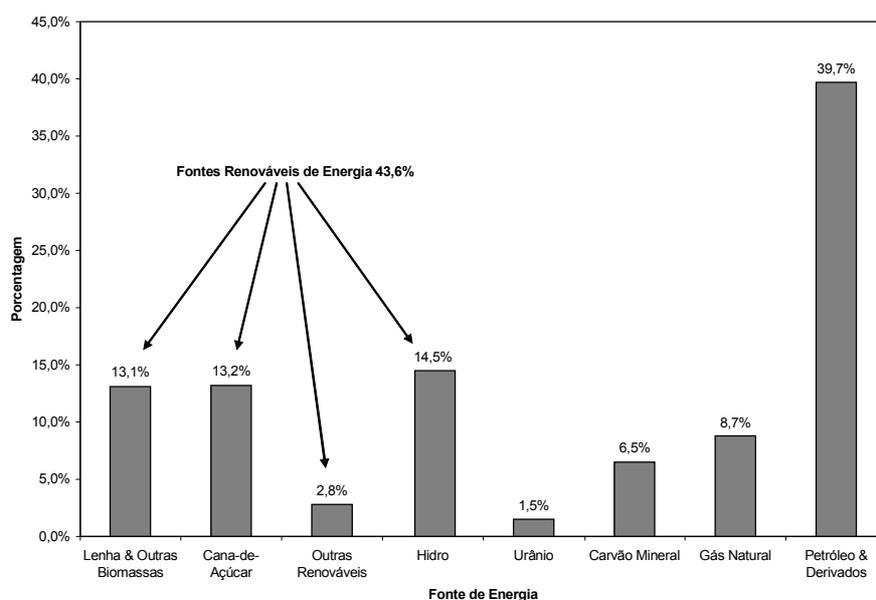


Figura 1 - Fontes renováveis de energia no Brasil.

FONTE: PROINFA (MME, 2005).

Com relação à biomassa, estima-se a existência de 2 trilhões de toneladas de biomassa no globo terrestre, ou seja, cerca de 400 toneladas per capita, o que corresponde a oito vezes o consumo de energia primária no mundo, atualmente de 400 EJ/ano. A biomassa pode ser utilizada diretamente em fornos ou caldeiras, porém sua utilização em sistemas de cogeração de eletricidade vem sendo

bastante difundida. De acordo com o Balanço Energético Nacional - 2003, a participação da biomassa na matriz energética brasileira é de 27%. 11,9%, a partir da utilização de lenha de carvão vegetal, 12,6% bagaço de cana-de-açúcar e 2,5% de outras fontes. De acordo com a ANEEL, somente as centrais geradoras que utilizam o bagaço da cana têm capacidade para produzir 1.198,2 MW.

Por fim, a energia eólica gerada pela força dos ventos serve tanto para produção de energia elétrica, por meio de turbinas eólicas, quanto para a realização de trabalhos mecânicos (bombeamento e moagem de grãos), por meio de cata-ventos. No Brasil, as atividades relacionadas ao potencial eólico tiveram início nos anos 90 no Ceará e em Fernando de Noronha (PE). De acordo com o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, o potencial brasileiro para o setor é de 143.000 MW, sendo que 7.694,05 MW já foram autorizados, porém somente 26,8 MW estão em operação. Desse total, 65% estão concentrados no Ceará.

2.3 BIOMASSAS

De acordo com SGANZERLA (1983), todos os materiais que têm a propriedade de se decomporem por efeito biológico, isto é, pela ação de diferentes bactérias, são considerados biomassas.

De uma maneira geral, pode-se descrever a biomassa como a massa total de matéria orgânica que se acumula em um espaço vital. Assim, são consideradas biomassas todas as plantas e todos os animais, inclusive seus resíduos, as matérias orgânicas transformadas, provenientes de indústrias alimentícias e indústrias transformadoras de madeira, também são biomassas (SOUZA et al., 2004).

Até o início do século XX, a biomassa era tida como a principal fonte energética. Foi nesse período que teve início a chamada “era do petróleo” e a biomassa energética foi praticamente esquecida. (ROSILLO-CALLE, 2000).

STAISS e PEREIRA (2001) relatam que os elementos primários da biomassa podem ser convertidos por diferentes tecnologias em bicompostíveis sólidos, líquidos ou gasosos, que por sua vez se transformam em energias térmica, mecânica e elétrica.

Atualmente, a produção de energia elétrica a partir da biomassa é muito defendida como uma alternativa importante para países em desenvolvimento e também outros países. Considerado um dos principais causadores de problemas ambientais no agronegócio, os dejetos gerados pela criação de animais estão sendo aproveitados para a geração de gás combustível e fertilizante. A matéria orgânica é utilizada como substrato para bactérias metanogênicas (bactérias formadoras de gás metano) responsáveis pela produção de biogás.

Segundo FLORENTINO (2003), tendo em vista a crise de energia e a conseqüente busca por fontes alternativas, os biodigestores têm sido alvo de grande destaque. Ressalta-se que os biodigestores são importantes no intenso processo de modernização da agropecuária que, por um lado, demanda energia, e por outro, gera resíduos animais e de culturas que podem ocasionar problemas de ordem sanitária.

2.4 A SUINOCULTURA NO PARANÁ

O estado do Paraná está em segundo lugar no *ranking* de produção de suínos no país, representando 13,5% da produção nacional (Tabela 1).

De acordo com o IBGE (2006), a região Oeste do Paraná apresenta um rebanho de 1.228.124 cabeças de suínos. Na região, o município de Toledo é a sede da maior planta industrial de abate e é considerado o maior produtor de suínos do Brasil, com um rebanho de 331.790 cabeças, que correspondem a 27% do rebanho da região.

A suinocultura esteve presente desde o início da colonização do Oeste paranaense. No princípio, era somente uma atividade de subsistência para as famílias, mas, posteriormente, tornou se uma importante fonte da renda familiar.

A atividade é de fundamental importância no contexto socioeconômico do Estado, pois proporciona fonte de renda e emprego em todos os setores da economia, gerando aumento na demanda de insumos agropecuários, ampliação e modernização dos setores de comercialização e das agroindústrias (IAPAR, 2000).

Tabela 1 - Rebanho suíno dos principais estados brasileiros - 2003

ESTADO	Nº DE CABEÇAS
Santa Catarina	5.432.143
Paraná	4.364.371
Rio Grande do Sul	4.145.052
Minas Gerais	3.371.624
Bahia	1.966.482
Maranhão	1.756.418
São Paulo	1.709.256
Goiás	1.499.050
Piauí	1.367.654
Mato Grosso	1.114.592
Outros	5.578.263
Total	32.304.905

FONTE: IBGE (2006).

2.5 A BOVINOCULTURA DE LEITE NO PARANÁ

De acordo com a Secretaria do Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná – SEAB, o estado se caracteriza por ser sua tradição agropecuária (PARANÁ, 2000). A pecuária leiteira encontra-se praticamente consolidada nas bacias das regiões Centro Sul e Oeste do estado e está em fase de

consolidação nas outras regiões. O rebanho leiteiro paranaense é formado por cerca de 2.000.000 de cabeças. O número de vacas ordenhadas é de, aproximadamente, 1.375.000 cabeças. Esse rebanho não deverá apresentar crescimento significativo nos próximos anos, pois se encontra em bacias leiteiras praticamente formadas.

A região Oeste é a segunda maior, com 22,4% da produção e 16,5% do rebanho. O rebanho da região apresenta uma produtividade média de 2.087 litros/vaca/ano. Os municípios com maior destaque são: Marechal Cândido Rondon, Toledo, Santa Helena, São Miguel do Iguazu e Terra Roxa (Tabela 2).

O município de Marechal Cândido Rondon é o segundo em produção e produtividade. Em 1998, foram produzidos 65.638.680 litros. Esse volume corresponde a 3,66% do total no estado. A produtividade média foi de 2.510 litros/vaca/ano.

Nos municípios de Carambeí, Castro, Palmeira e Arapoti estão localizados os rebanhos leiteiros mais produtivos do Paraná, com produtividade média de 3.507 litros/vaca/ano. Alguns rebanhos produzem médias superiores a 7.000 litros ao ano, comparando-se aos maiores países produtores de leite.

A região Norte é a terceira maior produtora, com 22% da produção total e possui o maior rebanho mestiço, com 271.099 cabeças, 26% do rebanho estadual. A produtividade média é de 1.280 litros/vaca/ano.

O município de Londrina, quarto maior produtor de leite do Paraná, participa com 3,15% da produção estadual. A produtividade média do plantel é de 1.578 litros/vaca/ano.

As regiões Sul, Oeste e Norte produzem 73% do total de leite do Paraná e concentram 63% do rebanho. As regiões Centro – Oeste, Sudoeste e Noroeste participam com 27% da produção e 37% do rebanho. Nestas regiões concentram-se os rebanhos mestiços com as mais baixas produtividades.

Tabela 2 - Produção leiteira no Paraná - 1998.

MUNICÍPIO DE ORIGEM	NÚCLEO REGIONAL	PROD. ANUAL (MIL/LT)	PROD. MENSAL (MIL/LT)*	PRODUTIV. LT/VACA/ANO	%
Carambeí	P. Grossa	68.000	5.667	3.507	3,79
Mal. Candido					
Rondon	Toledo	65.639	5.470	2.510	3,66
Castro	P. Grossa	60.000	5.000	3.507	3,34
Londrina	Londrina	56.492	4.708	1.578	3,15
Palmeira	P. Grossa	47.357	3.946	3.507	2,64
Toledo	Toledo	41.838	3.486	2.510	2,33
Arapoti	P. Grossa	26.000	2.167	3.507	1,45
Santa Helena	Toledo	19.618	1.635	2.510	1,09
São Miguel do					
Iguaçu	Cascavel	19.000	1.583	1.491	1,06
Terra Roxa	Toledo	17.595	1.466	2.510	0,98

NOTA: * - Produtividade média com base na média da microrregião homogênea.

FONTE: PARANÁ (2000).

2.6 ORIGEM DO BIOGÁS

A digestão anaeróbica da matéria orgânica, provavelmente, já existia antes mesmo do surgimento do homem. O químico italiano Alessandro Volta identificou em 1776 o metano presente no gás dos pântanos, resultante da decomposição de restos vegetais (CASSEB, 1996).

Em 1806, na Inglaterra, Humphrey Davy identificou um gás rico em carbono e dióxido de carbono, resultante da decomposição de dejetos animais em lugares úmidos. [...] apenas em 1857, em Bombaim, Índia, foi construída a primeira instalação operacional destinada a produzir gás combustível, para um hospital de hansenianos. Nessa mesma época, pesquisadores como Fisher e Schrader, na Alemanha e Grayon, na França, entre outros, estabeleceram as bases teóricas e experimentais da biodigestão anaeróbia. Posteriormente, em 1890, Donald Cameron projetou uma fossa séptica para a cidade de Exeter, Inglaterra.

O gás produzido era utilizado para iluminação pública. Uma importante contribuição para o tratamento anaeróbio de esgotos residenciais foi feita por Karl Imhoff, na Alemanha, que desenvolveu por volta de 1920 um tanque biodigestor: o tanque Imhoff, bastante difundido na época (Nogueira 1986, citado por GASPAR. 2003).

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

Indiscutivelmente, a pesquisa e o desenvolvimento de biodigestores desenvolveram-se muito na Índia, onde, em 1939, o Instituto Indiano de Pesquisa Agrícola de Kanpur desenvolveu a primeira usina de gás de esterco. Segundo NOGUEIRA (1986), com o sucesso alcançado os indianos deram continuidade às pesquisas e formaram o *Gobar Gás Institute* (1950), comandado por Ram Bux Singh. Essas pesquisas resultaram em grande difusão da metodologia de biodigestores como forma de tratar os dejetos animais, obter biogás e, ainda, conservar o efeito fertilizante do produto final (biofertilizante). A partir dos trabalhos realizados na região de Ajitmal (Norte de Índia), foram implantados quase meio milhão de biodigestores no interior do país.

A utilização do biogás, também conhecido como *gobar gás* (que em indiano significa gás de esterco), como fonte de energia motivou a China a adotar a tecnologia a partir de 1958 e até 1979 já havia instalado 7,2 milhões de biodigestores.

A partir da crise energética deflagrada em 1973, a utilização de biodigestores passou a ser uma opção adotada tanto por países ricos quanto por países considerados de Terceiro Mundo. Em nenhum deles, contudo, o uso dessa tecnologia alternativa foi ou é tão acentuada como na China e na Índia. O interesse da China pelo uso de biodigestores deveu-se, originalmente, a questões militares. Preocupada com a Guerra Fria, a China temeu que um ataque nuclear

impedisse toda e qualquer atividade econômica (principalmente industrial). Entretanto, com a pulverização de pequenas unidades biodigestoras ao longo do país, algumas poderiam escapar ao ataque inimigo.

Há pelo menos meio século, para os chineses, a implantação de biodigestores transformou-se em questão vital, incrustada em lógicas de política internacional. País continental com excesso de população, a China buscou, durante os anos 50 e 60, auge da Guerra Fria, uma alternativa de descentralização energética. Baseava-se em uma lógica simples: no caso de uma guerra que poderia significar a destruição quase total da civilização como a conhecemos, o ataque às centrais energéticas, como as poderosas usinas hidroelétricas, representaria o fim de toda atividade econômica. Isso porque a energia deixaria de estar disponível nos grandes centros, mas naqueles pequenos centros as pequenas unidades de biodigestão conseguiriam passar incólumes ao poder inimigo. A descentralização, portanto, implica a criação de unidades suficientes nas pequenas vilas, vilarejos e regiões distantes dos grandes centros. Desnecessário dizer a razão pela qual os biodigestores fizeram parte dessa estratégia (BARRERA, 1993).

A China e a Índia são os países que dominam hoje as melhores tecnologias de utilização dos biodigestores, com dois extremos a respeito de sua utilização. Chineses buscam, nessa tecnologia, o biofertilizante indispensável para produção dos alimentos necessários ao seu excedente de população. A energia do biogás não conta muito frente à auto-suficiência em petróleo. Os Indianos, por sua vez, necessitam dos biodigestores para suprir o seu imenso déficit de energia. Com isso, foram desenvolvidos dois modelos diferentes de biodigestor: o modelo chinês, mais simples e econômico e o modelo indiano, mais sofisticado e técnico, para aproveitar melhor a produção de biogás.

2.7 BIODIGESTORES

Os biodigestores são aparelhos destinados a conter a biomassa e seu produto: o biogás, facilitando a sua distribuição. O biodigestor não produz o biogás, mas proporciona as condições adequadas para que as bactérias metanogênicas atuem sobre a biomassa para produção desse combustível.

Existem centenas de projetos para construção de biodigestores, todos, inevitavelmente, constituem-se de duas partes: o tanque digestor no qual se aloja a biomassa e o gasômetro ou campânula em que fica armazenado o biogás. Há dois tipos de sistema: o contínuo e o intermitente. O primeiro é o mais difundido e se adapta à maioria das biomassas, recebe cargas diárias ou periódicas e descarrega o biofertilizante automaticamente. O sistema intermitente é específico para biomassas de decomposição lenta e de longo período de produção. Caracteriza-se por receber a carga total, retendo-a até terminar o processo de biodigestão, quando então é esvaziado e recarregado novamente (SGANZERLA, 1983).

O sistema mais difundido é o sistema contínuo, cujos modelos mais conhecidos são o chinês e o indiano e que são muito utilizados no Brasil.

O modelo chinês é rústico, geralmente construído em alvenaria e abaixo do nível do solo. Dispõe de uma câmara reguladora e é comum que trabalhe com alta pressão, porém, a ela varia com a produção e o consumo do biogás. Sua construção não apresenta grandes dificuldades, mas exige mão-de-obra experiente, devido a suas particularidades. É semelhante a um forno e é necessária a utilização de uma técnica em que o peso do tijolo deve mantê-lo na posição até que a argamassa seque.

Entre 1960 e 1970, a China experimentou o modelo indiano de biodigestores e concluiu que a utilização de aço para construção da campânula limitaria a instalação de biodigestores a poucos produtores rurais. Partiram então, para concepção de biodigestores que não utilizassem partes móveis e fossem construídos exclusivamente em alvenaria ou material de construção local. Com

essa tecnologia foi desenvolvido um programa que possibilitou a construção de 7,2 milhões de biodigestores entre 1972 e 1979, todos localizados ao sul do Rio Amarelo, região cujas condições climáticas são mais favoráveis (SGANZERLA, 1983). No Brasil, o primeiro biodigestor modelo chinês foi instalado pela EMBRATER, em novembro de 1979, na granja do Torto, Brasília - DF.

O modelo indiano, geralmente, tem a forma de um poço com a função de tanque digestor e apresenta uma campânula flutuante para o armazenamento do biogás e que permite o fornecimento de biogás a uma pressão estável. A campânula era feita de ferro, fato que eleva o custo de instalação do sistema e, conseqüentemente, limita sua difusão. Atualmente a campânula pode ser substituída por fibra, plástico ou mantas de PVC.

Na década de 70 algumas universidades de São Paulo e da Paraíba realizaram pesquisas e instalações de biodigestores do modelo indiano. Em 1980, a EMBRATER realizou o primeiro levantamento em nível nacional sobre biogás e identificou a existência de 88 biodigestores modelo indiano e um modelo chinês instalado no Brasil. Ficava clara a preferência brasileira pelo modelo indiano.

2.8 BIOGÁS

O biogás é um gás natural resultante da fermentação anaeróbica (na ausência de ar) de dejetos animais, de resíduos vegetais e lixo industrial ou residencial em condições adequadas.

O biogás é composto por uma mistura de gases que têm sua concentração determinada pelas características do resíduo e as condições de funcionamento do processo de digestão. É constituído, principalmente, por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) e, geralmente, apresenta em torno de 65% de metano, o restante é composto, em sua maior parte, por dióxido de carbono e alguns outros

gases como nitrogênio, hidrogênio, monóxido de carbono entre outros, porém, em menores concentrações, como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 Composição do biogás

GÁS	SÍMBOLO	CONCENTRAÇÃO NO BIOGÁS (%)
Metano	CH ₄	50-80
Dióxido de carbono	CO ₂	20-40
Hidrogênio	H ₂	1-3
Nitrogênio	N ₂	0,5-3
Gás Sulfídrico e outros	H ₂ S, CO, NH ₃	1-5

FONTE: LA FARGE (1979).

A utilização do biogás como recurso energético deve-se, principalmente, ao metano (CH₄) que, quando puro e em condições normais (PTN) de pressão (1 atm) e temperatura (0°), tem um poder calorífico inferior (PCI) de 9,9 kWh/m³. O biogás com um teor de metano entre 50 e 80% terá um poder calorífico inferior, entre 4,95 e 7,92 kWh/m³. A Tabela 4 relaciona a equivalência energética do biogás, de acordo com alguns autores.

Tabela 4 Equivalência energética do biogás com outras fontes de energia

ENERGÉTICO	FERRAZ e MARIEL (1980)	SGANZERLA (1983)	NOGUEIRA (1986)	SANTOS (2000)
Gasolina (L)	0,61	0,613	0,61	0,6
Querosene(L)	0,58	0,579	0,62	-
Diesel (L)	0,55	0,553	0,55	0,6
GLP (kg)	0,45	0,454	1,43	-
Álcool (L)	-	0,790	0,80	-
Carvão M. (kg)	-	0,735	0,74	-
Lenha (kg)	-	1,538	3,50	1,6
Eletricidade (kWh)	1,43	1,428	-	6,5

FONTE: FERRAZ e MARIEL (1980), SGANZERLA (1983), NOGUEIRA (1986) e SANTOS (2000).

2.9 UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS

O biogás é um combustível gasoso que apresenta um conteúdo energético semelhante ao gás natural. A Figura 2 mostra esquematicamente as possíveis aplicações para utilização/conversão do biogás.

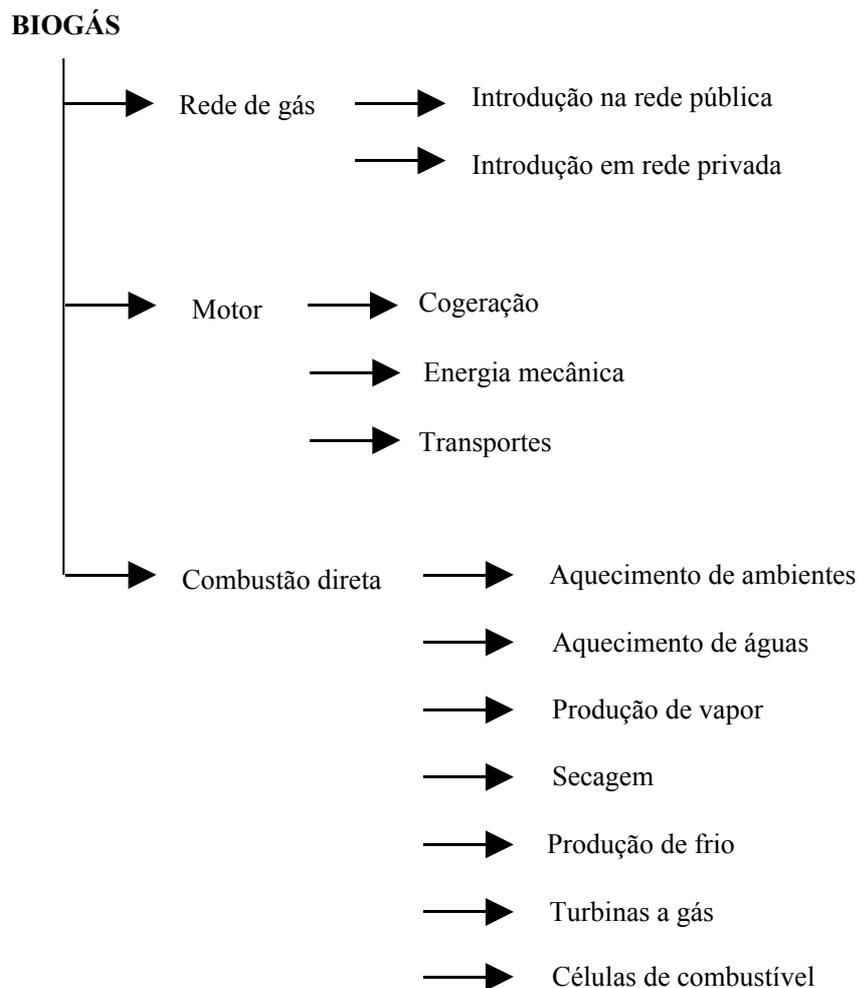


Figura 2 - Principais opções para utilização/conversão do biogás.

FONTE: SANTOS (2000).

Não importa qual a forma de utilização do biogás, ela terá como resultado pelo menos uma das seguintes formas de energia: elétrica, térmica ou mecânica. Quando pelo menos uma dessas formas de energia for útil, o biogás

proporcionará uma poupança de recursos, com importante valor econômico associado. O uso do biogás gera renda e economias, fato que desperta um crescente interesse por essa tecnologia (SANTOS, 2000).

O biogás é utilizado diretamente em equipamentos que funcionam com GLP ou em conjuntos geradores para produção de energia elétrica. Para sua perfeita utilização, os aparelhos devem ser específicos ou adaptados, por se tratar de um gás que será utilizado, geralmente, com fluxo de baixa pressão. A adaptação, quando necessária, consiste somente em aumentar o diâmetro de vazão do injetor.

Para transformá-lo em energia elétrica é necessária a utilização de geradores e para obtenção de energia térmica é necessário o uso de fornos para que ocorra a queima e sua transformação em energia térmica (AVELLAR, COELHO; ALVES, 2005). Para a utilização em motores à gasolina é necessário que se faça a conversão para biogás. Ela não exige grandes alterações nos motores, porém, modelos específicos apresentam melhores rendimentos (SGANZERLA, 1983). A Tabela 5 mostra o consumo de biogás em alguns dos aparelhos utilizados com maior frequência.

Tabela 5 - Consumo de biogás por aparelho

APARELHO	AISSE e OBLADEM(1982)	METALÚRGICA JACKWAL LTDA (1983)
Lampião (100 velas)	0,12m ³ /hora	0,13m ³ /hora
Fogão	0,33m ³ /pessoa/dia	0,32m ³ /hora
Forno (fogão doméstico)	-	0,44m ³ /hora
Geladeira (Média)	-	2,2m ³ /dia
Chuveiro	0,8m ³ /banho	0,8m ³ /banho
Incubadeira	0,71m ³ /hora	0,60m ³ /hora
Campânula	-	0,162m ³ /hora
Motor combustão interna	0,45m ³ /HP/h	0,45m ³ /HP/h
Produção de eletricidade	0,62m ³ /kWh	-

FONTE: Aisse e Obladen (1982), citados por DANIEL (2005); METALÚRGICA JACKWAL LTDA, citada por SGANZERLA (1983).

2.10 COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Define-se como cogeração a produção combinada de calor e eletricidade, independentemente do processo ou equipamento utilizado para tal (caldeira com gerador a vapor, grupo motor-gerador, turbina, etc). Para grupos motor-gerador, a eficiência de conversão em energia elétrica é relativamente reduzida. Dependendo da potência a eficiência varia entre 25% e 38%, em relação à energia inicial presente no biogás. Geralmente, os motores diesel apresentam rendimentos de 3 a 5 pontos percentuais a mais que os motores ciclo Otto, operados a gás.

O restante da energia contida no biogás (60-75%) é convertida em energia térmica, presente nos gases do escape (25-35%), na água de arrefecimento do motor (12-18%), no óleo do motor (5-10%) e uma parte é perdida por radiação (10-25%).

Atualmente, muitas pesquisas têm sido realizadas tendo como foco o uso de biogás como combustível em sistemas de cogeração tanto em áreas rurais como nas indústrias. Poole (1993), citado por FACCENDA e SOUZA (2001), aponta a cogeração como a melhor opção energética para o Brasil, descrevendo-a como atividade promissora. Destaca ainda, que a cogeração é uma atividade tradicional nas indústrias de processamento de cana e que, no estado de São Paulo, 92% da energia elétrica dessas indústrias provêm de sistemas de cogeração. Na década passada, esse índice atingia somente 60%.

É comum em propriedades rurais, localizadas em áreas afastadas em que a rede elétrica não está acessível, a utilização de grupos geradores a óleo diesel para produção de energia. Segundo PIMENTEL e BELCHIOR (2002), em determinadas regiões do norte do Brasil a eletrificação é feita por grupos geradores a diesel, que geram altos custos e prejudicam o desenvolvimento da região.

STAHL et al. (1981) descreveram a utilização de um sistema de cogeração de 22,5 kW com posterior adequação de cargas térmicas e elétricas

para suprir os usos finais de uma propriedade agrícola. COPPINGER, HERMANSON e BAYLON (1978) também apresentaram um trabalho de produção de eletricidade e aquecimento de água utilizando uma unidade de cogeração de 40 kW numa propriedade rural com resíduos de gado leiteiro.

KOELSCH e JEWELL (1982) desenvolveram um estudo de um sistema de cogeração de 15 kW em uma propriedade rural com resíduos de gado leiteiro, detalhando as variações das cargas e as misturas do biogás como combustível para o gerador elétrico. FISCHER e SCHRATTENHOLZER (2001) desenvolveram um estudo de caso sobre o uso de biogás como combustível alternativo numa propriedade rural composta de digestor anaeróbico e com um rebanho suíno de 3200 cabeças em fase de terminação.

Em estações de tratamento de esgotos, além da grande contribuição ambiental resultante do processo de tratamento, tem-se a produção de um combustível alternativo (biogás), que permite utilizar essa energia para produção de eletricidade (AVELLAR; COELHO; ALVES, 2005).

2.11 BIOFERTILIZANTE

Biofertilizante é o nome dado à biomassa fermentada que fica no interior do biodigestor, em sua maioria sob a forma líquida, rica em nutrientes; principalmente, nitrogênio, fósforo, potássio e material orgânico (húmus), com grande poder de fertilização. Quando aplicada ao solo melhora suas qualidades físicas, químicas e biológicas.

Os adubos químicos podem substituir a matéria orgânica, mas não podem suprir as qualidades físicas e biológicas fornecidas por ela. SGANZERLA (1983) cita que o uso excessivo de adubo químico causa a mineralização do solo, ressecando-o, endurecendo-o e dificultando a entrada de água e ar, o que provoca e facilita a ocorrência de erosão. Além disso, os sais, muito solúveis, destroem as

bactérias que vivificam o solo, deixando-o indefeso, propenso a invasões por insetos, fungos, nematóides e vírus, entre outros, que certamente causarão danos às plantas. O agricultor lança mão, nesse momento, do uso de defensivos agrícolas, os quais, além de poluírem o solo, eliminam os predadores naturais das pragas, gerando a necessidade de aplicação de novos defensivos, o que dá início a um ciclo vicioso, que só poderá ser quebrado com a aplicação de grande quantidade de matéria orgânica.

Compreende-se, portanto, a sensatez da preservação da integridade física, química e biológica do solo, pois a sua saúde resulta em saúde para as plantas que abriga.

Também de acordo com SGANZERLA (1983) e Parchen (1979), citado por DANIEL (2005), a grande capacidade de fertilização do biofertilizante ocorre devido aos seguintes fatores:

- A digestão da biomassa (no interior do biodigestor) diminui drasticamente o teor de carbono presente. De acordo com os autores, isso ocorre porque, na biodigestão, a matéria orgânica perde exclusivamente carbono sob a forma de CH_4 (Metano) e CO_2 (gás carbônico);
- O aumento do teor de nitrogênio e demais nutrientes está relacionado à diminuição do carbono;
- Diminuição na relação C/N da matéria orgânica. Com isso, os microorganismos do solo (bactérias nitrogenadoras) conseguem um melhor índice de fixação do nitrogênio, além do fato do próprio biofertilizante conter alguns nutrientes já solubilizados;
- Com seu nível de pH (em torno de 7,5), o biofertilizante funciona como corretor de acidez, eliminando o alumínio e liberando o fósforo dos sais insolúveis do alumínio de ferro. A elevação do pH dificulta a multiplicação de fungos patogênicos;
- Maior facilidade de imobilização do fertilizante pelos microorganismos do solo, devido ao material já se encontrar em grau avançado de decomposição, o que aumenta a eficiência do fertilizante.

A alta capacidade de fixação apresentada pelo biofertilizante evita a solubilidade excessiva e a lixiviação dos sais, mantendo-os sob formas aproveitáveis pelas plantas, cujo delicado sistema radicular é o único capaz de desagregar esses nutrientes. O biofertilizante, ao contrário dos adubos químicos, melhora a estrutura e a textura do solo, deixando-o mais fácil de ser trabalhado e facilitando a penetração de raízes, que conseguem absorver melhor a umidade do subsolo, podendo resistir mais facilmente a longos períodos de estiagem.

O biofertilizante possui partículas coloidais carregadas negativamente, o que o faz trocar por carga iônica, absorção superficial e coagulação. Seu poder de fixação dos sais é maior que o das argilas e é responsável direto pela maior parte da nutrição das plantas, com até 58% da capacidade total de troca de bases do solo. Estabiliza os agregados, de modo que resistam à ação desagregadora da água, absorvendo as chuvas mais rapidamente, evitando a erosão e conservando a terra por mais tempo (SGANZERLA, 1983).

Outra vantagem advinda da aplicação de biofertilizante é que ele deixa a terra com uma estrutura mais porosa, permitindo maior penetração do ar na zona explorada pelas raízes. Assim, a respiração dos vegetais é facilitada e eles obtêm melhores condições para se desenvolver. O gás carbônico presente no ar, ao circular melhor pelo solo, forma ácido carboxílico, o qual irá solubilizar sais que se encontram em formas insolúveis, facilitando sua assimilação pelas plantas.

O biofertilizante favorece a multiplicação das bactérias aos milhões, dando vida e saúde ao solo. A intensa atividade das bactérias fixa o nitrogênio atmosférico, transformando-o em sais aproveitáveis pelas plantas. As bactérias radícolas que se fixam nas raízes das leguminosas têm seu desempenho e desenvolvimento melhorados.

Além dessas características, que aumentam muito a produtividade das lavouras, deve-se destacar que o biofertilizante já se encontra completamente "curado", na expressão do campo, pois não sendo passível de nova fermentação, não apresenta odor nem é poluente e, desse modo, não atrai moscas ou outros insetos. Ao contrário de outros tipos de adubos, segundo SGANZERLA (1983), o biofertilizante pode ser aplicado diretamente no solo, em forma líquida ou

desidratada, dependendo das condições locais. O poder germinativo das sementes de plantas prejudiciais à lavoura e que passaram incólumes pelos sistemas digestivo e excretor dos animais é destruído pelos efeitos da biofermentação, não havendo perigo de que infestem as lavouras nas quais forem aplicados.

A composição do biofertilizante varia de acordo com a biomassa utilizada. A Tabela 6 mostra os resultados encontrados para os principais componentes dos biofertilizantes.

Tabela 6 - Principais componentes do biofertilizante

ELEMENTOS	PORCENTAGEM	
	PARCHEN (1979), citado por DANIEL (2005)	SGANZERLA (1983)
Nitrogênio	1,8 a 4,5	1,8
Fósforo	1,1 a 2	1,6
Potássio	0,8 a 1,2	1,0
Matéria Orgânica	-	85,0
pH	-	7,5

FONTE: Parchen (1979), citado por DANIEL (2005) e SGANZERLA (1983).

O biofertilizante pode ainda, depois de desidratado, ser utilizado para dar volume à composição de rações para animais. SGANZERLA (1983) descreve que a cultura do milho apresentou mais de 28% de produtividade, o arroz de 10 a 14%, o trigo de 12,5 a 16% e, em experiências realizadas em Santa Catarina, a cultura da alface apresentou um aumento 300 vezes maior que os cultivos convencionais.

DARTORA, PERDONO e TUMELERO (1998) sugerem que, para cultura do milho, seja utilizada a dose de até 160kg de nitrogênio/ha ou, aproximadamente, 60m³ de biofertilizante/ha/ano, enquanto que para outras culturas de estações frias a quantidade é de 15m³/ha/ano.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS PROPRIEDADES

Para o desenvolvimento deste trabalho foram coletados dados e informações em duas propriedades localizadas no município de Toledo, região Oeste do estado do Paraná.

A propriedade 1, do Sr. Nestor Inácio Simonetto, está localizada no distrito de Bragantina a, aproximadamente, 15 km da sede do município e conta com as atividades de agricultura e bovinocultura de leite. Neste trabalho, foi estudada a bovinocultura de leite. Essa propriedade conta com um rebanho total de 130 animais em regime de confinamento, sendo 72 vacas em lactação, instalações para ordenha e armazenamento do leite. Os dejetos dos bovinos são conduzidos a um biodigestor com 7 x 40 x 3 m de largura, comprimento e profundidade, respectivamente. O sistema absorve também toda água de lavagem da sala de ordenha e do barracão de confinamento que é lavado diariamente. Para utilização dos subprodutos provenientes da biodigestão, o produtor utiliza um sistema de irrigação, cujo combustível é o biogás. O biofertilizante é utilizado para fertirrigação de pastagens que servem de alimento para o gado e o biogás é utilizado para produção de energia elétrica, por meio de um conjunto motor-gerador instalado na propriedade.

A propriedade 2 conta com atividades de agricultura e suinocultura. Neste trabalho foi estudada a suinocultura. Essa propriedade pertence ao Sr. Arnaldo Bombardelli e está localizada a, aproximadamente, 5 km da sede do

município, na Estrada da Usina, s/n, zona rural. A atividade de suinocultura na propriedade opera num sistema produtivo de UPL (Unidade produtora de leitões) e está em fase de ampliação do rebanho. Atualmente, conta com 1.000 matrizes e projeção para 2.000 cabeças no próximo ano. Conta também com 5.000 leitões, número que também será dobrado, quando se completar o plantel das matrizes. Assim como na propriedade 1, todos os dejetos gerados pelo sistema de produção são conduzidos a um biodigestor com 10,5 x 55 x 4,5m de largura, comprimento e profundidade, respectivamente. O produtor também aproveita os subprodutos da biodigestão: o biofertilizante e o biogás, para fertirrigação e produção de energia elétrica.

As instalações das duas propriedades foram utilizadas para coleta dos dados de consumo de biogás, tanto para o sistema de irrigação quanto para a geração de energia elétrica. Foram utilizadas as informações dos produtores para elaboração dos custos de implantação dos sistemas e sua utilização no cotidiano de cada propriedade rural.

3.2 CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS

Os resíduos gerados na exploração de criação animal são os mais empregados nos processos de digestão anaeróbia, por sua elevada biodegradabilidade em condições de anaerobiose. Os resíduos provenientes de aviários, pocilgas e estábulos, geralmente, possuem características semelhantes, por serem concentrados e ricos em matéria orgânica (SANTOS, 2000).

Na mesma atividade pecuária os resíduos podem apresentar diferentes concentrações e biodegradabilidade, de acordo com a composição das dietas alimentares, sistema de cultivo e de limpeza das instalações. A Tabela 7

apresenta as quantidades de resíduos produzidos diariamente e características físico-químicas de alguns resíduos agropecuários.

O tempo de digestão varia de acordo com biodegradabilidade de cada resíduo, o que influencia na produção de biogás. O chorume de suínos e os excrementos de galinha podem apresentar uma biodegradabilidade 3 a 4 vezes maior do que o chorume de bovinos, isso ocorre porque o chorume de bovinos contém maior quantidade de compostos celulósicos e lenhina, provenientes do tipo de alimentação e da utilização de camas de palha (SANTOS, 2000).

Tabela 7 - Produção de resíduos e as principais características físico-químicas para algumas espécies pecuárias

ESPÉCIE PECUÁRIA	UNIDADE REFERÊNCIA	QUANTIDADE DIÁRIA DE RESÍDUO	CONCENTRAÇÃO (g/l ou g/kg)					
			DBO	ST	SV	N	P	K
Suínos ¹	Lugar de porca reprodutora em ciclo fechado	70 litros chorume	33,3	37	27,5	2,8	0,9	1,8
	Lugar de porca reprodutora em criação de leitões	85 litros chorume	29,7	30,5	24,4	2,3	0,8	1,5
	Lugar de porco em exploração de engorda	60 litros chorume	36,1	42,3	29,6	3,2	1,1	2,1
Bovinos ²	Vaca leiteira com 600 kg de peso	50 litros chorume		90	70	4,5	1,7	5,4
	Bezerro até 150 kg de peso	15 litros chorume		90	70	3,7	2,1	5,0
	Bovino engorda entre 150 a 520 kg de peso	20 litros chorume		90	70	3,7	2,1	5,0
Galináceos	Galinha poedeira em baterias (2 kg)	0,11 kg de excrementos		300	200	14	11	6
	Lugar de frango engorda (até 1,5 kg) ³	0,022 kg estrume		650	440	40	18	14
Eqüídeos ⁴	Cavalo adulto com 400 a 500 kg de peso	25 kg estrume		220	175	5	2,5	12
Ovinos e caprinos	Ovelha ou cabra	6,5 kg estrume		220	180	5,5	2,5	12

NOTAS: DBO – Demanda bioquímica de oxigênio; ST – Sólidos totais; SV – Sólidos voláteis; N – Nitrogênio; P – Fósforo; K – Potássio;
1 – chorume diluído em águas de lavagem; 2 – chorume não diluído e sem material

constituente das camas dos animais, diluições podem variar entre 1:0,5 e 1:7, palha para camas entre 1 a 3 kg/animal/dia; 3 – criação no solo em camas profundas, estrume considerado excremento mais material das camas (aparas de madeira ou palha cortada); 4 – estrume com dejeções sólidas e líquidas, misturadas com a cama dos animais, peso volumétrico na ordem dos 0,8 a 0,9 kg/litro.

FONTE: SANTOS (2000).

3.3 CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Desde que as condições sejam adequadas ao desenvolvimento das bactérias anaeróbias a digestão se realiza a partir de qualquer matéria orgânica e com a fermentação provocada pelas bactérias obtêm-se o biogás. Para cada fonte de matéria orgânica temos uma produção diferente de biogás. Logo, o sistema de cultivo e a quantidade de animais é que determinarão a capacidade de produção de biogás da propriedade. Para a propriedade 1, com 130 vacas leiteiras no confinamento e considerando 0,980 m³/animal/dia de biogás, tem-se uma produção estimada de 127,4 m³/biogás/dia. A propriedade 2 tem 1.000 porcas reprodutoras em produção de leitões. Considerando-se 0,933 m³/animal/dia de biogás a produção estimada é de 933m³/biogás/dia.

A Tabela 8 mostra a capacidade de produção de biogás a partir de resíduos pecuários, comuns em propriedades rurais.

Tabela 8 - Produção de biogás a partir de resíduos pecuários

ESPÉCIE PECUÁRIA	UNIDADE REFERÊNCIA	PRODUÇÃO ESPECÍFICA DE BIOGÁS (m ³ /kg SV)	PRODUÇÃO DIÁRIA (M ³ /ANIMAL/DIA)
	Porca reprodutora em ciclo fechado	0,45	0,866
Suínos ¹	Porca reprodutora em criação de leitões	0,45	0,933
	Porco em exploração de engorda	0,45	0,799

	Vaca leiteira com 600 kg	0,28	0,980
Bovinos ²	Bezerro até 150 kg	0,28	0,294
	Bovino engorda entre 120 a 520 kg	0,28	0,292
Galináceos	Galinha poedeira em baterias (2 kg)	0,46 – 0,77	0,010 – 0,017
	Frango engorda (até 1,5 kg)	0,13 – 0,26	0,001 – 0,002
Equídeos	Cavalo adulto com 400 a 500 kg	0,28	1,225

NOTAS: SV – sólidos voláteis; 1 – chorume diluído com águas de lavagem; 2 – chorume não diluído e sem material constituinte das camas dos animais, diluições podem variar entre 1:0,5 e 1:7, palha para cama entre 1 a 3 kg/animal/dia.

FONTE: SANTOS (2000).

3.4 O CONJUNTO MOTOR-GERADOR

O conjunto motor-gerador é constituído por um motor originalmente a gasolina, adaptado para o biogás e acoplado a um gerador de energia elétrica e equipado com um quadro de comando que serve para monitorar o seu funcionamento (Figura 3).

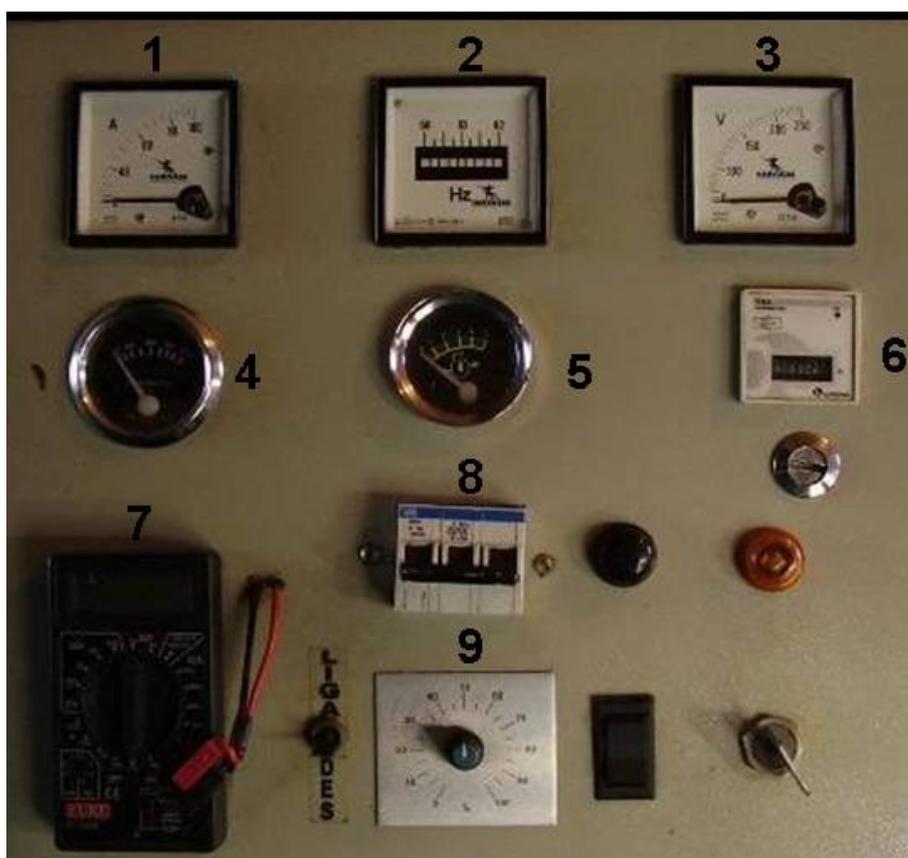


Figura 3 - Quadro de comando (Esquema ilustrativo).

Legenda:

- | | |
|---|---|
| 1. Amperímetro; | 7. Multímetro (relação ar/combustível); |
| 2. Medidor de frequência; | 8. Chave que libera a energia do gerador para rede; |
| 3. Medidor de tensão; | 9. Ajuste fino da Tensão; |
| 4. Medidor de temperatura do motor; | 10. Luz do óleo; |
| 5. Medidor da pressão do óleo do motor; | 11. Chave de ignição. |
| 6. Horímetro; | |

A propriedade 1 possui um equipamento composto por um motor da marca Ford, 4.9L, 140 HP com 4900 cilindradas, a gasolina, acoplado a um gerador da marca¹ Kohlback, modelo 180LB, com capacidade de 44 kW em baixa rotação (Figura 4). O motor usado no conjunto, geralmente, equipa algumas linhas de montagem desse fabricante, como por exemplo, caminhonete F-1000 a gasolina, dentre outros.

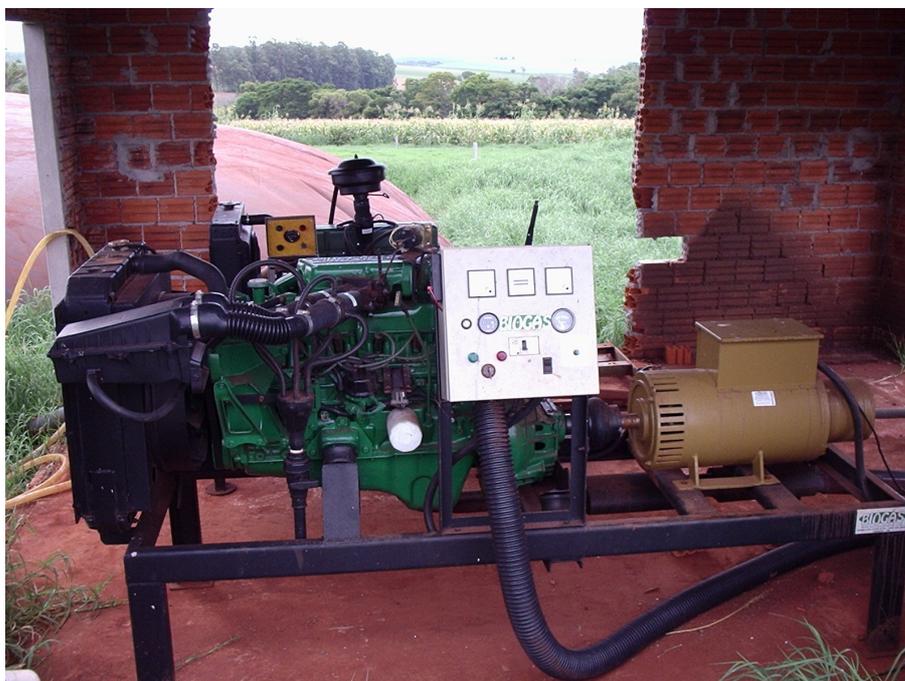


Figura 4 - Conjunto motor-gerador utilizado na propriedade 1, operando com biogás da bovinocultura.

¹ A citação de marcas e modelos neste trabalho não constitui recomendação comercial, mas somente a indicação dos materiais presentes nas propriedades estudadas.

Para a propriedade 2, o conjunto é constituído por um motor da marca Chevrolet Brasil, 4.3L, 60 HP com 4300 cilindradas, a gasolina, acoplado a um gerador da marca Kohlback, modelo 180LA com capacidade de 36 kW em baixa rotação (Figura 5). Esse motor equipava algumas linhas da montadora, tais como caminhonetas C-10 e até mesmo caminhões a gasolina.



Figura 5 - Conjunto motor-gerador utilizado na propriedade 2, operando com biogás da suinocultura.

3.5 O CONJUNTO MOTOR-BOMBA (IRRIGAÇÃO)

O equipamento utilizado para o bombeamento dos efluentes líquidos, o biofertilizante, também é composto por um motor, originalmente a gasolina,

convertido para o biogás, acoplado a uma bomba d'água que era acionada por um motor elétrico.

Os motores utilizados nas propriedades eram idênticos, ambos da marca Chevrolet Brasil, 4.3L, 60 HP com 4300 cilindradas, a gasolina, porém, a propriedade 1 possui uma bomba da marca Andrade, modelo Nasp 100, que necessita de 40 cv de potência a 2800 rpm (Figura 6), enquanto que a propriedade 2, possui uma bomba da marca Bomax, modelo D 80, que trabalha com 20 cv de potência a 2800 rpm (Figura 7).



Figura 6 - Conjunto motor-bomba utilizado para irrigação na propriedade 1, operando com biogás da bovinocultura.



Figura 7 - Conjunto motor-bomba utilizado para irrigação na propriedade 2, operando com biogás da suinocultura.

3.6 DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE BIOGÁS (M³/HP/H) PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E PARA IRRIGAÇÃO

Para determinação do consumo de biogás pelo conjunto motor-gerador ou pelo motor-bomba foi necessário utilizar um volume conhecido de biogás que estava condicionado em uma bolsa confeccionada em lona, denominada gasômetro.

O abastecimento do gasômetro com um volume conhecido foi feito com auxílio de um compressor. Cada modelo de compressor apresenta uma determinada quantidade de deslocamento de ar, o compressor utilizado no experimento era da marca Chiaperini, modelo CJ 10 BPV 200l, pressão máx. 8 kgf/cm² (120 lbf/pol²), rotação – 800RPM e deslocamento de ar de 285 L/m

(Figura 8). Com o deslocamento de ar conhecido, ligava-se o compressor (com o reservatório de ar totalmente vazio) até encher o reservatório com 120 lb. Como o deslocamento de ar é dado em L/min, o tempo de enchimento do compressor foi cronometrado, tornando possível saber quantos litros de biogás havia dentro do reservatório. Com o compressor cheio, o biogás contido no mesmo era transferido para o gasômetro deixando o compressor vazio novamente (Figura 9). Esse processo foi repetido por três vezes em cada teste (T1, T2 e T3), ou seja, cada três compressores cheios geravam uma quantidade suficiente de biogás dentro do gasômetro para a realização de um teste.



Figura 8 - Abastecimento do compressor de ar com biogás.

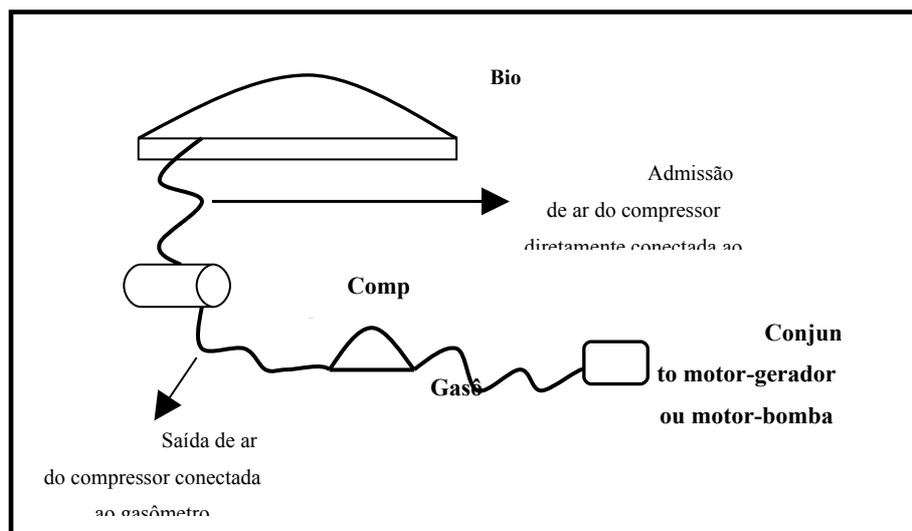


Figura 9 - Esquema utilizado para abastecimento do gasômetro com biogás.

Conhecendo-se a quantidade de biogás dentro do gasômetro (Figura 10), ele era conectado ao conjunto motor-gerador ou motor-bomba, que permanecia em funcionamento até que o biogás contido dentro do gasômetro fosse totalmente consumido, cronometrando-se o tempo de funcionamento do conjunto para aquela quantidade de biogás. Esse processo foi repetido três vezes para o sistema de geração de energia elétrica e três vezes para o sistema de irrigação em cada propriedade. Durante o período em que os motores estavam em funcionamento foram acompanhados os parâmetros apresentados pelo quadro de comando de cada motor, para se ter certeza que estavam trabalhando dentro dos parâmetros normais. As tomadas de tempo de funcionamento dos motores foram realizadas operando-os da mesma forma que são utilizados diariamente dentro de cada propriedade.



Figura 10 - Gasômetro abastecido com biogás.

3.7 EFICIÊNCIA DA CONVERSÃO DO BIOGÁS EM ENERGIA ELÉTRICA

De acordo com os valores apresentados na Tabela 4, para SANTOS (2000), 1 m³ de biogás equivale a 6,5 kWh. Partindo-se desse princípio tem-se que a eficiência de transformação de biogás em energia elétrica é dada pela razão entre a energia produzida pela equivalência de 1 m³ de biogás, ou seja:

$$\text{Eficiência (\%)} = (\text{energia produzida kWh/m}^3 / 6,5 \text{ kWh/m}^3) * 100.$$

A energia produzida kWh/m³ foi obtida convertendo-se a potência gerada em HP para kWh, com essa conversão calculou-se a produção de energia em kWh/m³. Para conversão de HP em kW, considerou-se que 1HP equivale a 0,746 kW.

3.8 ANÁLISE ECONÔMICA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA VIA BIOGÁS

A metodologia a ser utilizada para determinação do custo de produção da energia elétrica por cogeração via biogás é descrita por SOUZA et al (2004). Os autores relatam que o custo está relacionado ao capital investido na construção e manutenção do biodigestor e do sistema motor-gerador. A implantação do biodigestor equivale a, aproximadamente, R\$ 200,00/suíno e do conjunto motor-gerador cerca de R\$ 440,00/kW.

Considerando que em condições ideais de operação e de manutenção um biodigestor opera em uma propriedade rural durante todo ano, o biogás produzido pode ser utilizado diretamente no conjunto gerador. O tempo de retorno do investimento está em função do tempo de operação do equipamento, quanto menor for o tempo de operação, maior será o custo da energia elétrica. Na propriedade o equipamento pode operar durante dez horas diárias ou somente nos horários de maior consumo na indústria que são os horários de ordenha.

Para efeito de cálculo será utilizada uma taxa de desconto de 8%, que é usualmente aplicada aos financiamentos do governo nas atividades de produção agrícola. Para gastos com O&M (Operação e manutenção) será considerado 4% do investimento total ao ano e a tarifa de energia paga pela propriedade será utilizada para se determinar o tempo de retorno do investimento.

A determinação do custo da produção de energia elétrica por cogeração via biogás, para ambas as fontes de biogás, se dará da seguinte forma:

$$C_e = \frac{CAG + CAB}{PE} \quad (1)$$

Em que:

C_e = Custo de energia elétrica produzida via biogás (R\$/kWh);

CAB = Gasto anual com biogás (R\$/ano);

PE = Produção de eletricidade pela planta de biogás (kWh/ano);

CAG = Custo anualizado do investimento no conjunto motor-gerador (R\$/ano).

Em que:

$$CAG = CIG.FRC + \frac{CIG.OM}{100} \quad (2)$$

$$CAB = CB.CNB \quad (3)$$

Em que:

CIG = Custo do investimento do motor-gerador (R\$);

OM = Custo com operação e manutenção (%/ano);

CB = Custo do biogás (R\$/m³);

CNB = Consumo de biogás pelo conjunto motor-gerador (m³/ano).

Para calcular a produção de eletricidade (PE), tem-se:

$$PE = Pot.T \quad (4)$$

Em que:

Pot = Potência nominal da planta (kW);

T = Disponibilidade anual da planta (horas/ano);

O fator de recuperação de capital será dado por:

$$FRC = \frac{j.(1+j)^n}{(1+j)^{n-1} - 1} \quad (5)$$

Em que:

FRC = Fator de recuperação de capital;

- j = Taxa de desconto (%ano);
 n = Anos para amortização do investimento.

O custo do biogás será dado por:

$$CB = \frac{CAB}{PAB} \quad (6)$$

Em que:

CAB = Custo anualizado do investimento no biodigestor (R\$/ano);

PAB = Produção anual de biogás (m³/ano).

$$CAB = CIB.FRC + \frac{CIB.OM}{100} \quad (7)$$

Em que:

CIB = Custo de investimento no biodigestor (R\$).

Para avaliar a viabilidade de geração de energia elétrica, determinou-se o Tempo de Retorno do Investimento (TRI):

$$TRI = \frac{\ln(-\frac{k}{j-k})}{\ln(1+j)} \quad (8)$$

Em que:

$$k = \frac{A}{CI} - \frac{OM}{100} \quad (9)$$

$$A = CI.(FRC + \frac{OM}{100}) \quad (10)$$

Em que:

CI = Custo de investimento no sistema biodigestor/motor-gerador (R\$);

- A = Gasto anual com energia elétrica adquirida na rede (R\$/ano);
OM = Gastos com amortização e manutenção da planta (R\$/ano);
TRI = Tempo de retorno (anos).

3.9 UTILIZAÇÃO DO BIOFERTILIZANTE

Em ambas as propriedades o biofertilizante na forma líquida é utilizado por meio da irrigação por bombeamento e espalhamento por bicos aspersores diretamente sobre a cultura ou nas pastagens.

A propriedade 1 utiliza o sistema de irrigação diariamente por 2,5 horas. Esse processo é utilizado tanto para manter a adubação das culturas quanto para remover o material excedente do biodigestor que fica alojado em uma lagoa. O sistema de irrigação da propriedade é móvel e periodicamente é trocado de local conforme a necessidade observada pelo produtor. Frequentemente essa irrigação é utilizada nas pastagens, mas quando necessário também é aplicada a outras culturas, por exemplo, a do milho.

Na propriedade 2 a situação é semelhante, porém, devido a maior quantidade de dejetos gerados pelo sistema, o bombeamento funciona durante 10 horas diárias para remover o excedente que também é alojado em uma lagoa. Nessa propriedade o sistema de irrigação está mais distante do local em que a bomba está instalada e o efluente líquido percorre cerca de 1500 m de tubulações até chegar a um outro depósito do qual, então, é conduzido ao sistema de irrigação.

Para ambas as propriedades foi calculada a área necessária para absorver a quantidade de biofertilizante que cada uma pode produzir. KONZEN (2006) descreve que para suinocultura os resíduos sólidos presentes no biofertilizante

variam de 1,7% a 3,0% e que de acordo com esta concentração tem-se uma concentração diferente de nutrientes NPK conforme apresentado na Tabela 9.

A quantidade de área necessária para absorver o biofertilizante foi encontrada pela quantidade de N que é incorporada ao solo, considerando-se que o limite de incorporação é de 160 kg N/ha/ano, conforme indicação de DARTORA, PERDONO e TUMELERO (1998). Foi avaliada também a economia gerada, quando o produtor deixa de comprar uma fonte sintética de nitrogênio “uréia” e utiliza o biofertilizante.

Tabela 9 - Conteúdo médio de nutrientes NPK em dejetos de suínos, de acordo com o teor de sólidos

ELEMENTOS/ SÓLIDOS	kg m ⁻³ ou kg t ⁻¹ DE DEJETOS						
	0,27%	0,72%	1,63%	2,09%	2,54%	3,46%	4,37%
Nitrogênio	0,98	1,29	1,91	2,21	2,52	3,13	3,75
P ₂ O ₅	0,52	0,83	1,45	1,75	2,06	2,68	3,29
K ₂ O	0,75	0,88	1,13	1,25	1,38	1,63	1,88
NPK	2,25	3,00	4,49	5,21	5,96	7,44	8,92

FONTE: Miranda et al. (1999), citados por KONZEN (2006).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os valores apresentados na Tabela 7, foi estimada a quantidade de produção de resíduos para cada propriedade. Na propriedade 1, para um rebanho de 130 cabeças de vacas leiteiras com 600 kg de peso e produzindo 50 litros de chorume/dia/animal, tem-se uma produção diária estimada em 6,5m³ de dejetos e que são conduzidos ao biodigestor. A propriedade 2, com um rebanho atual de 1000 porcas reprodutoras em criação de leitões e cada animal produzindo o equivalente a 85 litros de chorume/dia, tem-se uma produção diária de 85m³ de dejetos.

Com base nos valores apresentados também é possível se estimar a produção diária de biogás para cada situação, de acordo com a Tabela 8, na propriedade 1 somente com os dejetos produzidos durante o dia podem-se produzir 127,4m³ de biogás, enquanto que na propriedade 2, são produzidos diariamente 933m³ de biogás dia. Esses valores referem-se à quantidade de dejetos gerados por animal/dia. Os valores de produção de biogás estão diretamente relacionados à temperatura, pois ela influencia a digestão anaeróbia e afeta os processos relacionados à atividade biológica dos microrganismos envolvidos. A temperatura mais favorável ao crescimento dos microrganismos anaeróbios está na faixa dos 35°C. Para temperaturas abaixo dos 25°C a velocidade de digestão decresce acentuadamente, reduzindo a produção de biogás (SANTOS, 2000). Considerando o fator temperatura os valores de produção de biogás podem sofrer alterações, principalmente nos meses de inverno, nos quais a produção é menor.

Utilizando um compressor de ar e o gasômetro, foi possível determinar o consumo de biogás por HP/hora para cada equipamento, em ambas as

propriedades. As Tabelas 10 e 11 mostram as tomadas de tempo para o abastecimento do gasômetro e o tempo de funcionamento do conjunto motor-bomba e motor-gerador para cada propriedade em estudo.

Tabela 10 - Tomadas de tempo para o abastecimento do gasômetro e tempos de funcionamento do equipamento com biogás da bovinocultura

MEDIDA	EQUIP.	TEMPO PARA ABASTECIMENTO DO COMPRESSOR (MIN)			TOTAL (min)	DESLOCAM. DE BIOGÁS (l/min)	QTDE BIOGÁS GASÔMETRO (m ³)	TEMPO DE FUNCION. DO EQUIP (min)
		T1	T2	T3				
1	Motor-bomba	8,45	8,42	8,48	25,35	285	7,22	11,02
2	Motor-bomba	8,37	8,47	8,48	25,32	285	7,22	11,15
3	Motor-bomba	8,50	8,47	8,62	25,58	285	7,29	11,18
1	Motor-gerador	8,47	8,50	8,55	25,52	285	7,27	23,78
2	Motor-gerador	8,45	8,48	8,37	25,30	285	7,21	21,57
3	Motor-gerador	8,43	8,52	8,47	25,42	285	7,24	22,05

Tabela 11 - Tomadas de tempo para o abastecimento do gasômetro e tempos de funcionamento do equipamento com biogás da suinocultura

MEDIDA	EQUIP.	TEMPO PARA ABASTECIMENTO DO COMPRESSOR (min)			TOTAL (min)	DESLOCAM. DE BIOGÁS (l/min)	QTDE BIOGÁS GASÔMETRO (m ³)	TEMPO DE FUNCION. DO EQUIP (min)
		T1	T2	T3				
1	Motor-bomba	8,62	8,65	8,55	25,82	285	7,36	27,90
2	Motor-bomba	8,55	8,58	8,47	25,60	285	7,3	27,73
3	Motor-bomba	8,62	8,53	8,62	25,77	285	7,34	27,80
1	Motor-gerador	8,62	8,53	8,55	25,70	285	7,32	39,38
2	Motor-gerador	8,55	8,48	8,58	25,62	285	7,3	39,97
3	Motor-gerador	8,57	8,60	8,62	25,78	285	7,35	39,12

Para a propriedade 1, cujos equipamentos funcionam com biogás proveniente dos dejetos da bovinocultura, a média de tempo de abastecimento do gasômetro, tanto para o funcionamento do conjunto motor-bomba, quanto para o conjunto motor-gerador foi de 25,416 minutos, com uma quantidade média de biogás, dentro do gasômetro, de 7,24m³ para cada tomada de tempo. O tempo de funcionamento médio de cada equipamento foi de 11,116 minutos para o conjunto motor-bomba e de 22,466 minutos para o conjunto motor-gerador.

Com o biogás proveniente da suinocultura, na propriedade 2 as médias de tempo para o abastecimento do gasômetro (min), quantidade de biogás dentro do gasômetro (m^3) e o tempo de funcionamento para o conjunto motor-bomba (min), foram de 25,73, 7,33 e 27,81, respectivamente, enquanto que para o conjunto motor-gerador as médias obtidas foram 25,70, 7,32 e 39,49 para tempo de enchimento do gasômetro (min), quantidade de biogás dentro do gasômetro (m^3) e tempo de funcionamento do equipamento (min).

Comparando os tempos de funcionamento dos equipamentos, observa-se que para a propriedade 1 os tempos de funcionamento são menores do que os encontrados na propriedade 2. Esse fato está relacionado à potência dos equipamentos que estão sendo acionados em cada propriedade e, possivelmente, a composição do biogás, pois a proporção de gás metano pode ser diferente para cada fonte geradora, esse item não foi avaliado neste teste. Para a propriedade 1, o conjunto motor-bomba aciona uma bomba de 40 HP e o conjunto motor-gerador um gerador de 44 kW. Na propriedade 2 o conjunto motor-bomba aciona uma bomba de 20 HP e o conjunto motor-gerador um gerador de 36 kW.

De acordo com os tempos de funcionamento e quantidade de biogás consumido, foram determinados os consumos ($m^3/HP/h$) para cada equipamento em cada propriedade. Nas Tabelas 12 e 13, pode-se observar os valores dos consumos para cada medida de tempo em cada equipamento de acordo com a origem do biogás.

A potência gerada (HP) está relacionada à potência do equipamento que é acionado pelo conjunto motor-gerador ou motor-bomba em cada propriedade. O consumo de biogás $m^3/HP/h$ variou de acordo com equipamento e com a fonte geradora de biogás. Para o biogás proveniente da bovinocultura, o consumo médio para o conjunto motor-bomba foi de 0,981 $m^3/HP/h$, enquanto que para o conjunto motor-gerador o consumo foi de 2,77 $m^3/HP/h$. O biogás oriundo dos dejetos da suinocultura apresentou resultados menores em relação ao consumo, tendo como médias de consumo 0,791 $m^3/HP/h$ para o conjunto motor-bomba e 1,113 $m^3/HP/h$ para o conjunto motor-gerador.

Tabela 12 - Consumo de biogás m³/HP/h para cada equipamento e produção de energia elétrica (kWh/m³), com biogás da bovinocultura

MEDIDA	EQUIP.	QTDE BIOGÁS GASÔMETRO (m ³)	TEMPO DE FUNCION. DO EQUIP. (horas)	POTÊNCIA GERADA (HP)	CONSUMO (m ³ /HP/h)	CONVERSÃO DE HP EM kW	CONVERSÃO DE kW EM kWh	PRODUÇÃO DE ENERGIA kWh/m ³
1	Motor-bomba	7,22	0,183	40	0,986	29,84	5,461	0,756
2	Motor-bomba	7,22	0,185	40	0,976	29,84	5,520	0,765
3	Motor-bomba	7,29	0,186	40	0,980	29,84	5,550	0,761
1	Motor-gerador	7,27	0,396	7	2,623	5,222	2,068	0,284
2	Motor-gerador	7,21	0,359	7	2,869	5,222	1,875	0,260
3	Motor-gerador	7,24	0,367	7	2,818	5,222	1,916	0,265

Tabela 13 - Consumo de biogás m³/HP/h para cada equipamento e produção de energia elétrica (kWh/m³), com biogás da suinocultura

MEDIDA	EQUIP.	QTDE BIOGÁS GASÔMETRO (m ³)	TEMPO DE FUNCION. DO EQUIP. (horas)	POTÊNCIA GERADA (HP)	CONSUMO (m ³ /HP/h)	CONVERSÃO DE HP EM kW	CONVERSÃO DE kW EM KWH	PRODUÇÃO DE ENERGIA kWh/m ³
1	Motor-bomba	7,36	0,465	20	0,791	14,92	6,938	0,943
2	Motor-bomba	7,3	0,462	20	0,790	14,92	6,893	0,944
3	Motor-bomba	7,34	0,463	20	0,793	14,92	6,908	0,941
1	Motor-gerador	7,32	0,656	10	1,116	7,46	4,894	0,669
2	Motor-gerador	7,3	0,666	10	1,096	7,46	4,968	0,681
3	Motor-gerador	7,35	0,652	10	1,127	7,46	4,864	0,662

Para Aisse e Obladen (1982), citados por DANIEL (2005) e SGANZERLA (1983), o consumo de biogás em motores de combustão interna é de 0,45m³/HP/h. Os resultados encontrados durante a pesquisa estão além dos referenciados por esses autores. Esse fato está diretamente relacionado à baixa eficiência dos motores e da subutilização dos equipamentos, principalmente com relação à produção de energia elétrica, cuja capacidade de produção da planta é maior que a potência que está sendo gerada em ambas as propriedades estudadas, ou seja, a implantação do sistema não foi planejada de acordo com a necessidade da propriedade.

A equivalência energética do biogás com relação à energia elétrica é de 1,43, para FERRAZ e MARIEL (1980) e SGANZERLA (1983). SANTOS

(2000) cita que essa equivalência é 6,5 kWh/m³ de biogás. Nas Tabelas 12 e 13 pode-se observar a produção de energia elétrica kWh/m³ para cada situação e para cada fonte geradora de biogás. Para o biogás da bovinocultura, o conjunto motor-bomba produz em média 0,761 kWh/m³, enquanto que o motor-gerador produz somente 0,270 kWh/m³, para o biogás da suinocultura os resultados foram melhores, com 0,943 kWh/m³ para o motor-bomba e 0,670 kWh/m³ para o motor-gerador. Apesar do biogás da suinocultura ter apresentado melhores resultados, a produção de energia elétrica ainda não está atingindo os níveis indicados pelos autores acima.

Quando se compara a eficiência da produção de energia elétrica com a eficiência apresentada por SANTOS (2000), que indica que os grupos geradores, geralmente, apresentam uma eficiência entre 25 e 38%, esse resultado não é satisfatório. Para o biogás da bovinocultura a eficiência de produção de energia elétrica no conjunto motor-bomba foi em média de 11,7%, enquanto que para o conjunto motor-gerador a eficiência do sistema foi de apenas 4,14%. Para o biogás da suinocultura a eficiência do conjunto motor-bomba foi em média de 14,5% e para o motor-gerador de 10,3%, ligeiramente melhores mas não satisfatórios.

A baixa eficiência encontrada está diretamente relacionada ao alto consumo de biogás por HP/hora. Isso ocorre devido ao equipamento utilizado, no caso o motor de combustão interna, não ser específico para uso com biogás, ou seja, por serem motores adaptados não contêm todas as características necessárias para que apresentem o rendimento esperado.

O estudo da viabilidade econômica de implantação do sistema está diretamente relacionado à quantidade de energia elétrica a ser produzida, ao investimento inicial do projeto e à vida útil dos equipamentos utilizados, pois estes são os principais fatores que influenciam no tempo de retorno do investimento.

Para a propriedade 1, o custo de implantação do biodigestor foi de R\$ 50.000,00 e para o motor-gerador o investimento foi de R\$ 20.000,00, para

uma produção de 44 kWh de energia elétrica. Na propriedade 2, o investimento com a construção do biodigestor foi de R\$ 100.000,00 e com o motor-gerador R\$ 20.000,00, porém para uma produção de 36kWh de energia elétrica. Para ambas as propriedades foram consideradas cinco formas de trabalho que diferem entre si pelo tempo de funcionamento diário do sistema, ou seja, para este estudo foi considerado que o gerador opere durante 4, 6, 8, 10 ou 12 horas diárias. Para efeito de cálculo, foram considerados 5, 10, 15 e 20 anos de tempo de vida útil para os equipamentos, originando os valores (R\$) para o m³ do biogás apresentados na Tabela 14 e para o MWh de energia produzida em cada propriedade nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 14 - Custo do Biogás (m³), de acordo com o tempo de amortização do investimento para bovinocultura e suinocultura

TEMPO DE AMORTIZAÇÃO (ANOS)	CUSTO DO BIOGÁS DA BOVINOCULTURA (R\$/M ³)	CUSTO DO BIOGÁS DA SUINOCULTURA (R\$/M ³)
5	0,394	0,107
10	0,229	0,063
15	0,184	0,050
20	0,164	0,045

O custo do m³ de biogás está relacionado à capacidade de produção de biogás da propriedade e ao custo do investimento necessário. SANTOS (2004) relata que em uma propriedade, cuja demanda de energia elétrica seja de 40 kW, são necessárias 258 cabeças de suínos (matrizes) que resultariam em uma produção de 200 m³/dia de biogás, com um investimento de R\$ 200,00 por animal para a instalação do biodigestor. Para essa produção e esse investimento o custo do m³ de biogás seria de 0,21; 0,13; 0,11 e 0,10 reais para um tempo de amortização de 5, 10, 15 e 20 anos, respectivamente.

Considerando-se que o investimento realizado na propriedade 1 foi de R\$ 50.000,00 para uma produção de, aproximadamente, 130m³ de biogás/dia os

valores encontrados para o biogás da bovinocultura são condizentes aos encontrados por SANTOS (2004). Na propriedade 2, é possível visualizar a condição de que quanto maior for a produção de biogás menor será seu custo. Com um investimento de R\$ 100.000,00 para o biodigestor a propriedade tem uma capacidade de produção de 933m³/dia de biogás a um custo 70% menor que o encontrado para a propriedade 1.

Os valores encontrados para produção de biogás influenciam diretamente o Ce (Custo de energia elétrica produzida via biogás (R\$/kWh)). A Tabela 15 apresenta os resultados encontrados para o custo da eletricidade produzida com o biogás de bovinocultura de acordo com o tempo de amortização considerado e o tempo de operação diária do sistema. Os valores encontrados não são atrativos para um produtor que pretenda instalar um sistema semelhante em sua propriedade. Esse fato está relacionado à produção atual da planta e à capacidade de produção para a qual ela foi instalada. Com uma capacidade de produção de 44 kW, mas com uma produção de apenas 5,222 kW, o custo da energia produzida torna-se elevado, em função do investimento necessário para implantação do sistema. Da forma que está sendo operada a planta de geração de energia na propriedade 1, o custo da energia passa a ser atrativo somente se for considerado um tempo de amortização de 20 anos e se o custo da energia cobrada pela concessionária for superior a R\$ 356,79 que é o valor mínimo encontrado com a planta operando por 4 horas diárias.

Com uma produção de 7,46 kW e um custo por m³ de biogás reduzido, a propriedade 2 apresenta valores menores para o custo da eletricidade produzida com o biogás da suinocultura (Tabela 16). Apesar de também apresentar uma produção de eletricidade menor que a capacidade instalada, os custos obtidos para geração de energia elétrica estão mais atrativos economicamente, pois o custo máximo encontrado para a propriedade 2 foi de R\$ 239,83/MWh para um tempo de amortização de 5 anos e operando por somente 4 horas diárias. Esse valor está abaixo do cobrado pelas concessionárias de energia elétrica para propriedades rurais que é de, aproximadamente, R\$ 300,00/MWh.

Tabela 15 - Custo da eletricidade (MWh) para a propriedade 1, com biogás da bovinocultura, de acordo com o tempo de amortização e o tempo de operação do gerador

TEMPO DE AMORTIZAÇÃO (ANOS)	CUSTO DA ELETRICIDADE(R\$/MWh)				
	4 H DE OPERAÇÃO	6 H DE OPERAÇÃO	8 H DE OPERAÇÃO	10 H DE OPERAÇÃO	12 H DE OPERAÇÃO
5	856,71	818,72	799,72	788,33	780,73
10	498,21	476,11	465,07	458,44	454,02
15	400,19	382,44	373,57	368,24	364,69
20	356,79	340,97	333,06	328,31	325,15

Tabela 16 - Custo da eletricidade (MWh) para a propriedade 2, com biogás da suinocultura, de acordo com o tempo de amortização e tempo de operação do gerador

TEMPO DE AMORTIZAÇÃO (ANOS)	CUSTO DA ELETRICIDADE(R\$/MWh)				
	4 H DE OPERAÇÃO	6 H DE OPERAÇÃO	8 H DE OPERAÇÃO	10 H DE OPERAÇÃO	12 H DE OPERAÇÃO
5	239,83	193,39	170,18	156,25	146,96
10	139,47	112,47	98,96	90,86	85,46
15	112,03	143,91	79,49	72,99	68,65
20	99,88	80,54	70,87	65,07	61,20

As Tabelas 15 e 16 evidenciam que quanto maior for o tempo de operação do sistema, menor será o custo de produção da energia elétrica. Pode-se observar também que os custos são maiores para a propriedade 1. Isto se deve ao fato dessa propriedade produzir uma menor quantidade de biogás e, principalmente, por estar produzindo pouca energia, em relação à sua potência nominal.

O tempo de retorno deste investimento está relacionado com o valor pago pelo produtor por kWh à concessionária de energia elétrica. Para propriedades rurais o custo cobrado gira em torno de R\$ 300,00/MWh, logo pode-se calcular o tempo de retorno do investimento pela economia que o

produtor está fazendo quando deixa de comprar energia da rede e consome a energia produzida dentro da própria propriedade.

Considerando que a propriedade 1 opere em sua capacidade máxima, ou seja, produza os 44 kW que o gerador é capaz, o tempo de retorno do investimento com o biodigestor e o conjunto motor-gerador é de 5,4 anos, operando por 4 horas diárias com a energia elétrica a um custo de R\$ 300,00/MWh, mas se a planta operar por 12 horas diárias o tempo de retorno do investimento será reduzido para 1,4 anos, com o mesmo custo pago para energia elétrica. Na Figura 11, pode-se observar os tempos de retorno do investimento para diferentes tarifas cobradas pelo MWh de energia elétrica, em relação aos diferentes tempos de funcionamento diário do sistema de geração de energia.

A capacidade instalada na propriedade 2 é de 36 kW com um investimento de R\$ 120.000,00 entre o biodigestor e o conjunto motor-gerador, observa-se então que o tempo de retorno deste investimento para mesma tarifa de R\$ 300,00/MWh com o tempo de funcionamento diário do equipamento de 4 horas é de 27 anos, mas pode chegar a 3,3 anos se o sistema funcionar durante 12 horas diárias (Figura 12).

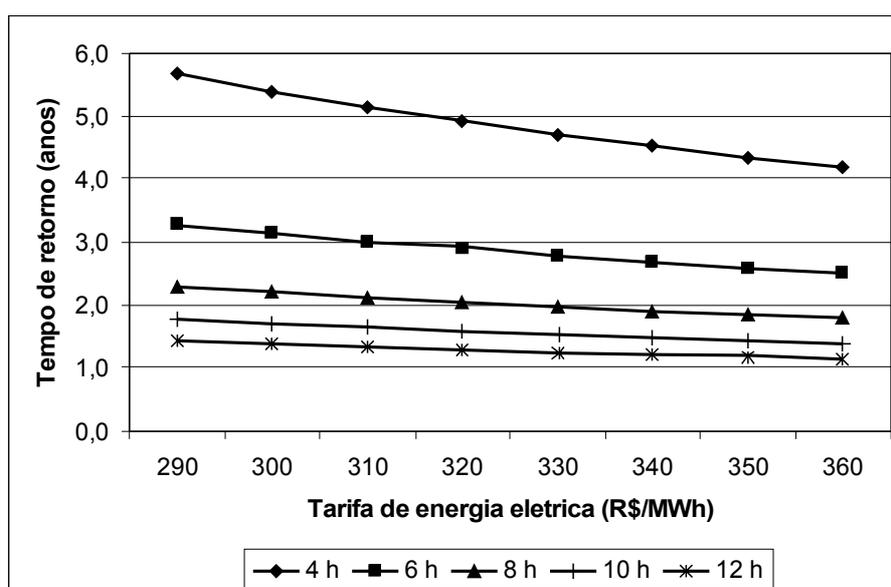


Figura 11 - Tempo de retorno do investimento para a propriedade 1, com biogás da bovinocultura para produção de energia elétrica.

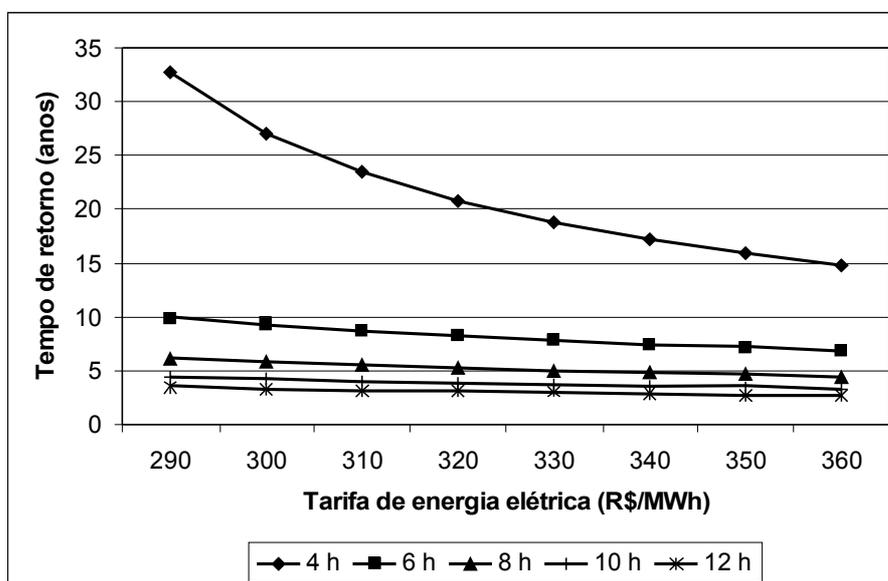


Figura 12 - Tempo de retorno do investimento para a propriedade 2, com biogás da suinocultura para produção de energia elétrica.

Para ambas as propriedades, quanto maior for o tempo diário de operação do sistema menor será o tempo de retorno do investimento desde que o sistema esteja produzindo a quantidade de energia para qual a planta foi projetada. Para operar 12 horas diárias, seria necessário que as propriedades fossem interligadas à rede e que as concessionárias apresentassem políticas de compra para a energia excedente, incentivando assim as fontes alternativas de produção de energia.

Além de grupos geradores as propriedades em estudo possuem um sistema de irrigação, cujo combustível utilizado para funcionamento das bombas é o biogás e o consumo para cada propriedade pode ser observado nas tabelas 12 e 13, para as respectivas propriedades. Na propriedade 1 o biofertilizante que sai do biodigestor permanece em uma lagoa, de onde é conduzido pelo sistema de irrigação até as pastagens. A bomba de irrigação permanece em funcionamento por 2,5 horas diárias e se fosse acionada por energia elétrica consumiria o

equivalente 30 kWh. Com base nesse valor, foi determinado o consumo mensal de energia elétrica que deixa de ser pago pelo produtor. O tempo de retorno encontrado para o investimento, com uma tarifa de energia elétrica de R\$ 300,00/MWh, foi de 34 anos. Para a propriedade 2, cujos dejetos são conduzidos por bombeamento para uma lagoa que serve de depósito, para só então serem utilizados para irrigação de plantações, o processo de bombeamento funciona por 10 horas diárias e consome o equivalente a 15 kWh. Para esse consumo o tempo de retorno do investimento para mesma tarifa paga pela energia elétrica na propriedade 1 seria de 19,5 anos. Na Figura 13, observa-se que o tempo de retorno diminui gradativamente com o aumento da tarifa paga pelo MWh de energia elétrica.

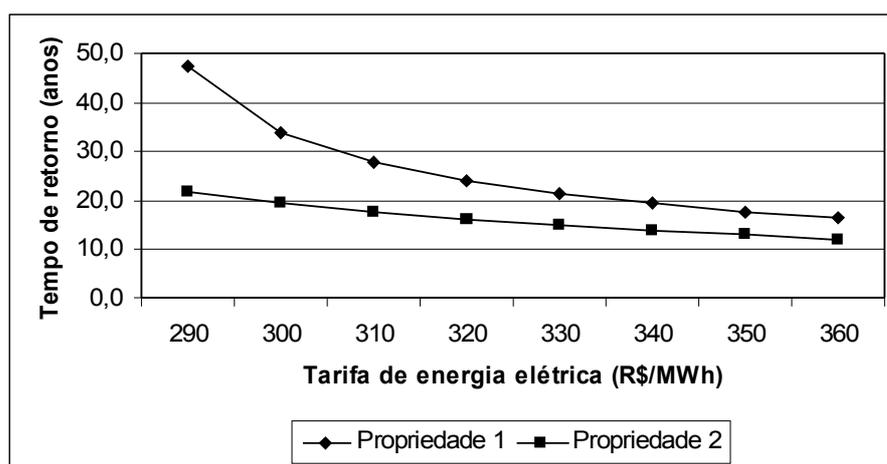


Figura 13 - Tempo de retorno do investimento para as propriedades 1 e 2 utilizando o biogás no sistema de irrigação.

O tempo de retorno do investimento também pode ser calculado somando-se a produção de energia elétrica de cada propriedade à economia gerada pelo uso do biogás com o sistema de bombeamento para irrigação.

Utilizando os dois sistemas, simultaneamente, para a propriedade 1 o tempo de retorno do investimento é de 4,3 anos para uma tarifa de R\$ 300,00/MWh, trabalhando com sistema de geração de energia por 4 horas

diárias e com o sistema de bombeamento por 2,5 horas diárias (Figura 14). Para a mesma propriedade o tempo de retorno pode chegar a 1,5 anos se o sistema de geração de energia operar por 12 horas diárias e o sistema de bombeamento por 2,5 horas diárias.

Para a propriedade 2, trabalhando simultaneamente com o conjunto motor-gerador e com o conjunto motor-bomba, o tempo de retorno é de 6,7 anos, gerando energia por 4 horas diárias e realizando o bombeamento dos dejetos por 10 horas diárias com uma tarifa de energia elétrica de R\$ 300,00/MWh (Figura 15). O tempo de retorno do investimento é de 2,7 anos quando o gerador funciona por 12 horas diárias e a bomba por 10 horas diárias, com o mesmo valor pago pela energia elétrica.

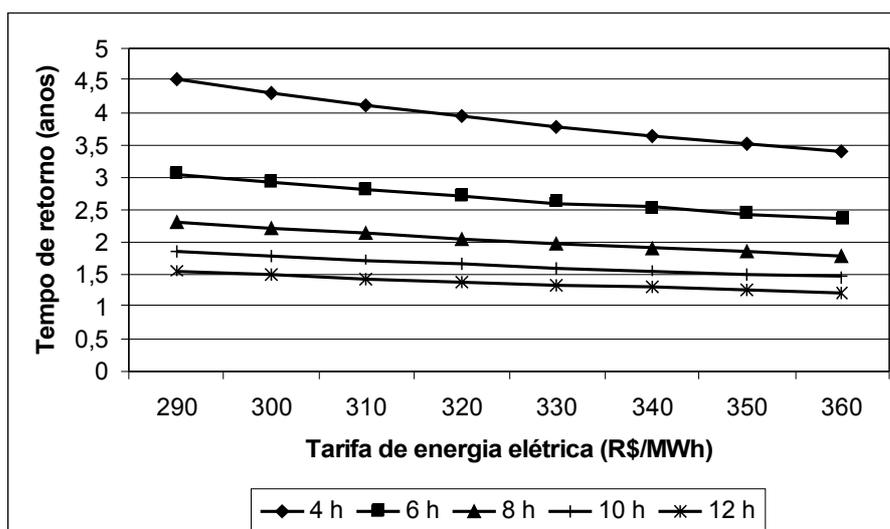


Figura 14 - Tempo de retorno do investimento para a propriedade 1, com biogás da bovinocultura para produção de energia elétrica e irrigação.

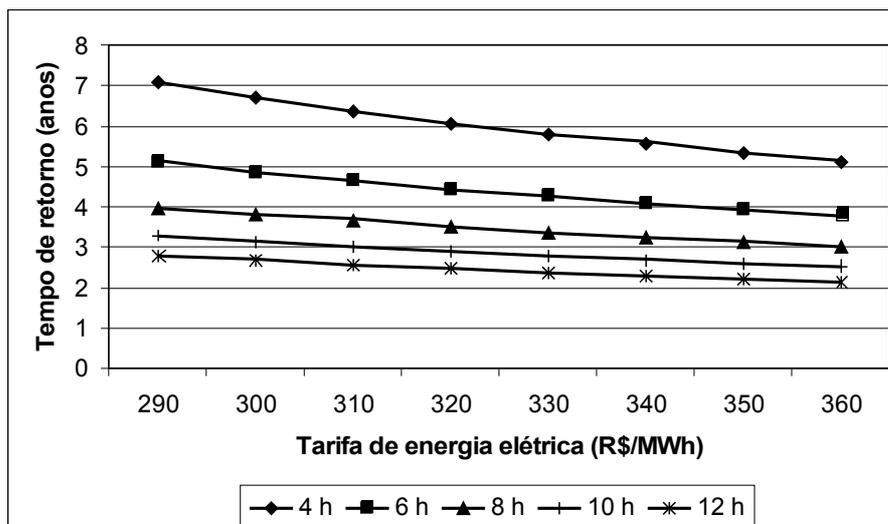


Figura 15 - Tempo de retorno do investimento para a propriedade 2, com biogás da suinocultura para produção de energia elétrica e irrigação.

A utilização do biofertilizante como fonte de nutrientes para pastagens e plantações também resulta em economia para os produtores. Na propriedade 1 a produção de biofertilizante é da ordem de 2.400 m³/ano. De acordo com a Tabela 9, considerando que o efluente possui 2,5% de sólidos, a quantidade de nitrogênio por m³ de efluente é de 2,52 kg, significando que se tem disponível 6.000 kg/N/ano. Seguindo a recomendação de DARTORA, PERDONO e TUMELERO (1998), na propriedade 1 tem-se nitrogênio disponível para fertilizar 37 ha/ano. A fonte de nitrogênio comumente utilizada na agricultura é a uréia que tem um custo de R\$ 900,00/ton, logo o produtor economiza R\$ 5.400,00/ano utilizando o biofertilizante, considerando somente o benefício do uso do nitrogênio.

Para a propriedade 2, a produção de dejetos é maior e, conseqüentemente, a economia gerada também. Com uma produção de 85.000 litros de dejetos por dia, considerando os mesmos parâmetros utilizados na propriedade 1, o produtor tem disponível 78 ton/N/ano que podem fertilizar,

aproximadamente, 480 ha/ano, com uma economia de R\$ 70.200,00/ano, considerando o biofertilizante como fonte de nitrogênio.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos pela pesquisa permitem concluir que:

1. O uso de biodigestores em propriedades rurais, além ser uma excelente alternativa para o tratamento dos dejetos gerados pelas atividades do agronegócio, torna-se economicamente viável quando o biogás e biofertilizante são utilizados adequadamente.

2. Os custos de produção de biogás encontrados estão diretamente relacionados à quantidade de biogás que se produz e ao investimento destinado à construção do biodigestor. Para a propriedade 1 o custo por m³ do biogás se tornou mais oneroso, devido à sua baixa capacidade de produção, porém o custo final da energia elétrica gerada pelo uso do biogás nessa propriedade pode ser diminuído no momento que a produção de energia atinja sua capacidade de geração instalada.

3. Os resultados quanto ao consumo de biogás pelos motores e a eficiência da produção de energia elétrica não são satisfatórios, comparativamente aos exemplos da literatura citada, porém a utilização do biogás como combustível, seja para conjuntos geradores ou para conjuntos motor-bomba, aparece com uma alternativa bastante atrativa economicamente para as propriedades que geram resíduos agropecuários.

4. Avaliando-se os resultados de consumo de biogás para os diferentes motores, o biogás proveniente da suinocultura apresentou valores menores, porém não é possível afirmar que o mesmo seja mais ou menos eficiente que o biogás da bovinocultura, pois as condições de operação e os equipamentos (motores) utilizados não apresentavam as mesmas características. Para se determinar qual a fonte geradora de biogás que apresenta melhor rendimento é

necessário a realização de testes com um mesmo equipamento e variando o combustível, neste caso, o biogás.

5. Os tempos de retorno do investimento são razoáveis, principalmente quando se soma a geração de energia elétrica com a energia economizada no sistema de irrigação. A geração de energia passaria a ser muito mais atrativa se as concessionárias de energia elétrica adquirissem a energia excedente do produtor, pois, para o caso da propriedade 2, por exemplo, a produção de biogás permite que sejam instalados mais geradores, porém, isso se torna inviável se a energia produzida não for utilizada.

6. O tempo de retorno do investimento pode se tornar ainda menor se a economia proporcionada pelo uso do biofertilizante como fonte de nitrogênio para adubação de pastagens ou lavouras, também for considerada.

REFERÊNCIAS

AMARAL, C. M. C.; AMARAL, L. A.; LUCAS JUNIOR, J.. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, Santa Maria - RS, v.34, n.6, p.1897-1902, nov./dez. 2004.. ISSN 0103-8478.

AVELLAR, L. H. N., COELHO, S. T., ALVES, J. W. Geração de eletricidade com biogás de esgoto: Uma realidade. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**. n. 29. Disponível em: <http://www.biotecnologia.com.br/revista/bio29/geracao.pdf> Acesso em: 27 de maio de 2005.

BARRERA, P.. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. São Paulo: Ícone, 1993.

CASSEB, M. M. S. **Avaliação do desempenho de um reator anaeróbico de fluxo ascendente e manta de lodo, em escala piloto, tratando de esgotos sanitários da cidade de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.

COPPINGER, E.; HERMANSON, R. E.; BAYLON, D. Operation of 390 m³ digester at the Washington Dairy Farm, **ASAE Paper**, St. Joseph, n. 78 v. 4566, 1978.

DANIEL, G. **Controle da poluição proveniente dos dejetos da suinocultura, reaproveitamento e valorização dos subprodutos.** Curitiba, 2005. 96 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Católica do Paraná.

DARTORA, V.; PERDONO, C. C.; TUMELERO, I. L. Manejo de dejetos de suínos. In: **Boletim Informativo de Pesquisa**, Concórdia - SC, mar 1998. Embrapa Suínos e Aves e Extensão – EMATER/RS.

FACCENDA, O.; SOUZA, L. G. A cogeração como alternativa no equacionamento da demanda de energia elétrica. **Energia na Agricultura**, Botucatu - SP, v.12, n. 3, p. 33-45, 2001.

FERRAZ, J. M. G., MARIEL, I. E. **Biogás uma fonte alternativa de energia**, Brasil, 1980. 27 p.

FISCHER, G.; SCHRATTENHOLZER, L. Global bioenergy potentials through 2050. **Biomass and Bioenergy**, Elsevier Science, n. 20, p.151-159, 2001.

FLORENTINO, H. O., Mathematical tool to size rural digesters. **Ciência Agrícola**, Piracicaba - SP, v. 60, n. 1, jan./mar. 2003. ISSN 0103-9016.

GADANHA, C..D., MOLIN, J. P., COELHO, J. L. D., YAHN, C. H., TOMIMORI, S. M. A. W. **Máquinas e implementos agrícolas do Brasil.** São Paulo-SP: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991. 468 p.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso**

na região de Toledo – PR. Florianópolis, 2003. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Agronegócio do Paraná:** Perfil e características das demandas das cadeias produtivas. Londrina: IAPAR, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Agropecuário.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/2003>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2006.

JARDIM, S. S. Alerta: Consumidores desconhecem impacto altamente poluidor da suinocultura. **Jornal do Meio Ambiente**, Niterói, 2005. Disponível em: http://www.jornaldomeioambiente.com.br/JMA-txt_importante27.asp. Acesso em: 21 de agosto de 2005.

KOELSCH, R.; JEWELL, W. Cogeneration of electricity and heat from biogas. St. Joseph, **ASAE Paper**, v. 82, n. 3621, 1982.

KOLLING, E. M., **Análise de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água.** Cascavel, 2001. 45 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

KONZEN, E. A. **Fertilização de lavoura e pastagem com dejetos de suínos e cama de aves.** Sete Lagoas – MG: Embrapa, dezembro 2003. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/circl31pdf>. Acesso em 17 de março de 2006.

LA FARGE, B. **Le biogaz**. Procédés de fermentation méthanique. Paris: Masson, 1979.

LORENZO, E. **Eletricidad solar**. Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos. Sevilla, Espanha: Progensa, 1994. 184 p.

MINISTERIO DAS MINAS E ENERGIA - MME. PROGRAMA DE INCENTIVO ÀS FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA - PROINFA, 2005. Disponível em: http://www.mme.gov.br/programs_display.do?chn=904. Acesso em: 10 jul.2005.

NOGUEIRA, L. A. H, **Biodigestão**: A alternativa energética. São Paulo: Nobel, 1986.

PALZ, W. **Energia solar e fontes alternativas**. Paris, França: Hemus, 1995. 357 p.

PIMENTEL, V. S. B.; BELCHIOR, C. P. R. Análise e diagnose de diesel em geradores operando com óleo de dendê. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: NIPE/UNICAMP, Campinas – SP, 2002.

ROSILLO-CALLE, F. The role of biomass energy in rural development. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL – AGRENER, 3, 2000, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2000.

SANTOS, P. **Guia técnico de biogás**. Portugal: Centro para a Conservação de Energia, 2000.

PARANÁ. Secretaria do Estado da Agricultura e do Abastecimento - SEAB. **Caracterização da bovinocultura de leite no estado do Paraná.** Curitiba, 2000. Disponível em: <http://www.pr.gov.br/seab/deral/cultura3.pdf>. Acesso em: 17 de março de 2006.

SGANZERLA, E., **Biodigestor**: uma solução. Porto Alegre: Agropecuária, 1983.

SOUZA, J. W. **Análise climatológica do potencial eólico no estado de Minas Gerais.** Viçosa: UFV, 1993. 107 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa.

SOUZA, S. N. M.; PEREIRA, W. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; PAVAN, A. A.; SORDI, A. Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 26, p. 127-133, 2004.

STAHL, J. R. FISHER, F. D. HARRIS & C. E. DUNLAP An internal combustion engine fueled with biogás integrad ino na etanol plant. **ASAE Paper** n. MCR 81-202, 1981.

STAISS, C.; PEREIRA, H. Biomassa: energia renovável na agricultura e no setor florestal. **Revista Agros**, Instituto Superior de Agronomia, Portugal, v. 13, n. 1, p. 21-28, 2001.