

Iº SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE PRODUÇÃO DE BIOGÁS  
A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

INTEGRAÇÃO ENTRE PROBLEMAS SOCIAIS, ECONÔMICOS E  
AMBIENTAIS PARA A PRODUÇÃO DE B I O G Ã S

Ágide Gorgatti Netto  
José Manuel Cabral Sousa Dias

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA  
Supercenter Venâncio 2.000 - 9º andar  
Brasília, DF

São Paulo, 06 a 17 de dezembro de 1982

## 1. INTRODUÇÃO

A discussão a respeito da utilização do biogás em atividades agropecuárias tem-se pautado por avaliações econômicas da substituição de combustíveis convencionais e eletricidade por aquela fonte alternativa. Como exemplo dessa tendência pode ser apontado um trabalho apresentado por professores (11) da Escola de Engenharia de Itajubá, onde são avaliadas as condições em que o auto-suprimento energético (via biogás) é mais econômico do que a aquisição de energia elétrica da concessionária, em função de alguns parâmetros como potência nominal da instalação, fator de carga da linha e número de consumidores por quilômetro de linha de transmissão. Da mesma forma foram efetuadas várias comparações entre os custos da energização de propriedades rurais a partir de óleo diesel, óleo combustível ou gás liquefeito de petróleo e a partir do biogás.

Um fator de máxima importância e que tais análises não levam na devida consideração é a disponibilidade da forma ou fonte de energia que o biogás proporciona e esta importância é tanto mais acentuada quando se considera que apenas de 5 a 8% das propriedades rurais dispõem de energia elétrica.

Um proprietário individual ou mesmo um grupo de proprietários de uma certa região não pode se responsabilizar pela extensão de linhas de transmissão de alta tensão que lhes assegurem o suprimento da energia.

A adoção de tecnologias que envolvem fontes alternativas de energia pode ser feita por parte dos produtores rurais de três maneiras distintas, dependendo de aspectos sociais e econômicos vinculados às atividades produtivas. Os produtores podem adotar a nova tecnologia apenas em substituição aos insumos convencionais; podem adotá-la e através de sua utilização mais intensa possibilitada pela maior disponibilidade, conseguir incrementos na produção e na

produtividade; e em outros casos a introdução de novas tecnologias de fontes alternativas de energia possibilita desenvolver sistemas de produção integrando as atividades energéticas e as alimentares, numa situação em que ambas são grandemente favorecidas.

Neste trabalho procurar-se-á mostrar que uma vez passado um primeiro período de aplicação da produção de biogás com fins eminentemente sociais, talvez seja chegado o momento de experimentar um avanço significativo na utilização das tecnologias de fontes alternativas de energia, com o intuito de transformá-las em atividades renovadoras da produção agropecuária, sem, contudo, lhes diminuir as características inerentes de valorização social e conservação ambiental.

## 2. ASPECTOS SOCIAIS

No início dos programas de pesquisa e implantação de biodigestores no Brasil, o enfoque social era o mais importante: procurava-se proporcionar aos moradores do meio rural uma alternativa simples e barata que permitisse elevar o nível de conforto da família, através da utilização do biogás no cozimento de alimentos, na iluminação, no aquecimento de água, na geração da eletricidade, na conservação refrigerada de alimentos, etc.

Houve, por parte, principalmente da EMBRATER (Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural), um grande esforço no desenvolvimento de equipamentos e aparelhos, que hoje encontram-se no mercado, fabricados por diversas empresas. Foi elaborado um Catálogo dos Fornecedores de Equipamentos e Serviços, de abrangência nacional, que proporciona aos produtores rurais um primeiro contacto com o assunto. ( 3 )

A preocupação em desenvolver a utilização do biogás para o conforto dos habitantes do setor rural parecia vir de encontro às aspirações da própria população rural, uma vez que a mesma, ao dispor de fontes de energia prefere utilizá-las mais para conforto doméstico e menos para as atividades produtivas.

Este fato foi demonstrado em estudos efetuados nos Estados de São Paulo e Minas Gerais, por pesquisadores ligados à eletrificação rural. No primeiro caso ( 1 ) o estudo foi conduzido em 387 propriedades rurais de Franca, Novo Horizonte e Jales (Estado de São Paulo) que são servidas por rede de distribuição elétrica e onde se constatou que 64% da eletricidade era usada em atividades estritamente domésticas, enquanto 36% era utilizada em alguma forma de atividade produtiva. Deve-se notar que em 53% das propriedades levantadas havia ferro elétrico de passar roupa enquanto que em 50% das propriedades encontrava-se televisores e em 45,5%, geladeiras. No aspecto produtivo, apenas 21,5% das proprieda-

des possuíam triturador de rações.

Esses resultados estão de acordo, em linhas gerais, com os encontrados em outra pesquisa, feita por professores da ESAL (Escola Superior de Agricultura de Lavras), onde se determinou que 62% das propriedades analisadas na região de Lavras (Sul de Minas Gerais) possuíam televisão, 67% tinha geladeira e 57% possuíam ferro de passar roupa. ( 13 )

O que ambas as pesquisas demonstraram é que havia pequena utilização da energia elétrica instalada. Como o custo das redes para eletrificação rural é em geral, subsidiado, o proprietário da fazenda requer a instalação de linhas mais potentes do que as necessidades reais, ocasionando enteão que menos propriedades são interligadas à linha principal. Um dos estudos ( 1 ) chega a apresentar como conclusão que: "Como o uso de energia elétrica nas propriedades agrícolas é muito pequeno e o investimento é muito alto, mister ser faz implantar novas formas de prover essas propriedades de outras fontes energéticas. Tendo como base que a maior parte do consumo elétrico se dá com a iluminação, com pequenas bombas d'água e com secador de cereais, seria muito mais eficiente a implantação do uso de energia solar, o aproveitamento da gravidade para instalação das bombas d'água e também a produção de gás metano a partir da digestão aeróbica de resíduos agrícolas".

O fato de a energia ser utilizada principalmente em atividades domésticas salienta que o morador de algumas regiões do setor rural encara a obtenção de níveis de conforto (para si e para a sua família) similares aos das cidades como uma aspiração de grande prioridade o que se de um lado pode não contribuir para elevar os níveis de produção e produtividade das propriedades, por outro é um importante fator de fixação do homem no campo. Quando o ruralista obtém alimentos mínimos para a subsistência familiar e um certo nível de conforto, ele não tem motivos mais fortes para migrar para os centros urbanos

Deve-se considerar, entretanto, que para haver um efetivo aumento do conforto familiar é necessário que ocorra também uma evolução na educação do habitante rural, de modo que a utilização de novos equipamentos domésticos, de lazer e de produção não sejam simples imitação dos modelos urbanos, mas uma escolha coerente e ajustada às suas necessidades e possibilidades. Nesse aspecto a disponibilidade de energia obtida do biogás permite ao habitante do setor rural efetuar a sua opção por um padrão de vida, mas cabe, em parte, aos organismos de pesquisa e de difusão e assistência técnica a orientação para o melhor aproveitamento das múltiplas oportunidades que se apresentam.

É fato inegável que o nível de conforto, o nível de riqueza, o nível de tecnologia e o de utilização de energia no setor rural estão intimamente relacionados. No Brasil, os estudos a esse respeito ainda não são muito numerosos. Em outros países, entretanto, já foram efetuadas pesquisas no sentido de avaliar a influência da utilização de energia, sobre a vida das populações rurais. Um desses trabalhos foi desenvolvido na Índia, em 1974 e 1975, por uma equipe de professores de Harvard, que chegou à seguinte conclusão: "Os homens e mulheres da Índia Rural estão ligados à pobreza e miséria porque eles usam muito pouca energia e usam-na de forma ineficiente e praticamente toda ela advém de seus próprios esforços físicos. A transformação da sociedade rural indiana pode ser conseguida através do aumento do uso de energia e de melhora nas tecnologias para o seu uso". ( 10 )

Embora no Brasil a situação não seja tão dramática como era na Índia de 1974-1975, a conclusão apontada parece indicar um dos caminhos a seguir, devendo-se ressaltar que num país do tamanho e da diversidade de situações do nosso todas as formas e fontes de energia devem ser utilizadas para aumentar o índice de consumo "per capita": nos locais em que houver quedas d'água devem-se utilizar pequenas centrais hidroelétricas; onde houver linhas de transmissão deve-se otimizar o uso da energia elétrica; deve-se estimular as pesquisas para

desenvolvimento de células fotovoltaicas mais eficientes; onde as condições permitirem deve-se produzir álcool para auto-abastecimento local ou regional; e evidentemente, onde houver disponibilidade de resíduos orgânicos deve-se transformá-los em biogás e biofertilizantes.

Para concluir este tópico deve-se ressaltar que a energização das propriedades via biogás permite, de forma quase única, conciliar as duas aspirações: a de um certo padrão de conforto pela utilização domiciliar do biogás e a de aumento de produção e produtividade das culturas através do aproveitamento do biofertilizante, associado em alguns casos à utilização produtiva do biogás para bombeamento de água, ordenha mecânica e resfriamento de leite, triturador de rações, etc.

### 3. ASPECTOS AMBIENTAIS

Do ponto de vista da conservação do ambiente, todas as formas e fontes de energia que são exploradas em grande escala introduzem perturbações no eco-sistema, às vezes na etapa de exploração das matérias-primas, às vezes nas etapas de transformação e em outras vezes na de utilização. ( 12 )

A usinas hidroelétricas trazem na sua construção sérios problemas de inundação e inativação para fins agrícolas de grandes extensões de terra fértil, com sensíveis modificações no eco-sistema. E não raro, durante a operação das hidroelétricas ocorrem inundações que causam transtornos às populações bem como perturbam a flora e a fauna ribeirinhas.

A exploração e utilização do carvão mineral traz a preocupação com gases sulfurosos e emissão de materiais particulados, que já foram responsáveis nos Estados Unidos e Europa por "chuvas ácidas" muito corrosivas e difíceis de assimilar na terra e nas águas.

Os derivados de petróleo geram poluição durante o refino, e na utilização de motores com emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio.

A biomassa também apresenta seus inconvenientes: a queima direta de grandes quantidades de lenha produz compostos orgânicos cíclicos que já foram apontados como cancerígenos. Na transformação da biomassa em etanol e na posterior utilização como combustível ocorrem também vários efeitos adversos no meio ambiente como foram apontados pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) ( 7 ) e dentre os quais se incluem: a erosão acentuada do solo, a produção de vinhaça, a formação de aldeídos.

A energia nuclear, além dos impactos ambientais que os reatores podem

causar "per si" ainda acarreta a difícilíssima disposição dos rejeitos radioativos e a incerteza a respeito da desativação e desmontagem das usinas que ficaram obsoletas.

Tendo em vista este quadro um pouco constrangedor das dificuldades de conciliar a expansão do consumo de energia com a proteção ambiental, pode-se entender porque vem sendo proposto com insistência crescente que as fontes e formas de energia devem ser identificadas e exploradas a nível local ou regional. Do ponto de vista ambiental este é o enfoque mais adequado, como forma de minimiar os impactos que o necessário aumento no consumo de energia possa trazer ao eco-sistema.

Claro está que nesse aspecto a utilização de biodigestores para energização das propriedades proporciona certa tranquilidade, pois a geração dispersa de biogás não constitui nenhum tipo de agressão ao meio ambiente.

Aliás há ainda duas vantagens adicionais para a preservação do eco-sistema na energização através do biogás: a diminuição do consumo de lenha para fins residenciais no setor rural e o efetivo controle de patógenos presentes nos esterco animais.

Em vários Estados brasileiros como Rio Grande do Sul, Paraná, Rio de Janeiro e certas regiões de São Paulo, o suprimento de lenha para fins domicilares vem-se constituindo em problema de difícil solução.

A ocupação das áreas férteis com culturas eliminou pouco a pouco as matas e não havendo a manutenção de bosques e capoeiras com este fim específico, a lenha tornou-se bem escassa.

O consumo domiciliar de lenha pela população rural no Brasil foi estimado ( 4 ) em cerca de 460 kg/pessoa.ano, valor que acrescido da madeira necessária para a produção de 19 kg de carvão vegetal/pessoa.ano, na base de 3,5

toneladas de madeira por tonelada de carvão vegetal se eleva para aproximadamente 525 kg/pessoa.ano.

Assim, uma família de 5 pessoas consumiria praticamente 2,5 a 3 toneladas de lenha por ano, quantidade que por si só não é muito elevada, mas que pode levar a duas situações distintas.

Nas regiões citadas, onde as matas e bosques já são escassas, o suprimento de lenha constitui-se numa crescente dificuldade para a dona-de-casa e os filhos menores que têm de gastar muitas horas recolhendo e transportando os feixes de lenha.

Nas outras regiões brasileiras onde ainda há lenha à vontade, não existe uma orientação educacional que procure preservá-la e o consumo indiscriminado leva fatalmente à exaustão desse recurso energético.

Nas duas situações, um pequeno biodigestor assegura o suprimento de gás para cozimento e aquecimento doméstico e deve ser ressaltado que em muitos casos a mão-de-obra familiar responsável pela coleta e manuseio da lenha seria liberada para outras atividades produtivas. Assim, a resolução de um problema energético permitiria aumentar a mão-de-obra ativa na propriedade e isso poderia levar ao aumento da produção total ou da produtividade.

Outro aspecto ligado à preservação do meio ambiente e à saúde pública e a inativação de microrganismos patogênicos normalmente presentes nos esterco animais.

Mais de cem doenças de animais podem ser transmitidas para o homem. Nem todas essas zoonoses são transmitidas através dos resíduos animais, mas a maioria comprovadamente tem nos excrementos o principal vetor. Algumas das zoonoses mais significativas são salmoneloses, infecções por estafilococos e estreptococos, tétano, tuberculose, brucelose, leptospirose e contaminações por colibacilos. ( 2 )

Os esterco animais são usados para fertilização de culturas alimentares e muitos estudos demonstraram que mesmo a sua aplicação continuada não traz maiores inconvenientes do ponto de vista sanitário, desde que o esterco seja aplicado e incorporado ao solo por aração. Entretanto, algumas situações podem provocar sérios problemas para os animais e para o homem, como por exemplo no caso dos excrementos serem produzidos por animais infectados por doenças viróticas como febre aftosa, carbúnculo e possivelmente cólera e também no caso da simples aspersão dos esterco diluídos nas pastagens ( 09 )

O método universalmente recomendado para controlar as possibilidades de contaminações provenientes dos esterco animais é a biodigestão.

Os dados publicados a respeito da sobrevivência de microrganismos patogênicos submetidos à biodigestão são muito animadores, como demonstra a Tabela 1.

TABELA 1 - PORCENTAGEM DE DESTRUIÇÃO DE ORGANISMOS PATOGÊNICOS SUBMETIDOS À BIODIGESTÃO ( 8 ).

| Organismo                  | Temperatura (°C) | Tempo de resistência (d) | Porcentagem de Destruição (%) |
|----------------------------|------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Virus da Polio             | 35               | 2                        | 98,5                          |
| Salmonella sp              | 22-37            | 6-20                     | 82-96                         |
| Salmonella typhosa         | 22-37            | 6                        | 99                            |
| Mycobacterium tuberculosis | 30               | não publicado            | 100                           |
| Ascaris                    | 29               | 15                       | 90                            |
| Cistos                     | 30               | 10                       | 100                           |

Assim, em tempos de residência da ordem de 15 a 20 dias, que é a

faixa normalmente utilizada em biodigestores para esterco animal, a destruição dos organismos patogênicos é quase que completa.

Segundo o NATIONAL RESEARCH COUNCIL ( 8 ) "não há outro método prático de tratamento de excrementos - quer para disposição final quer para retorno ao solo como fertilizante - que reduza a carga de organismos patogênicos tão bem como a digestão anaeróbica". Desta forma, também pelos aspectos de saúde pública a biodigestão deve ser cada vez mais incentivada.

#### 4. ASPECTOS ECONÔMICOS

Como foi anteriormente mencionado a utilização de biogás em sido economicamente comparada com outras fontes de energia, principalmente eletricidade e derivados de petróleo.

Um exemplo desse tipo de comparação foi apresentado num trabalho de SANTOS & NOGUEIRA ( 11 ), professores da Escola Federal de Engenharia de Itajubá. Analisando os custos de implantação, manutenção, depreciação das redes elêtricas, acrescidos das tarifas de energia elétrica utilizada em confronto com os custos de implantação, operação, manutenção e depreciação do biodigestor bem como gerador de energia elétrica, em função de parâmetros como adensamento de consumo (nº de consumidores por km de linha de transmissão) e fator de carga (quantidade de energia elétrica utilizada em relação à total disponível), o estudo conduz à determinação do adensamento mínimo a partir do qual é mais econômico para o produtor (e não necessariamente para o estado, uma vez que foram considerados juros subsidiados para implantação de redes elétricas) adquirir energia elêtrica da concessionária do que efetuar a auto-geração.

Num resultado típico para uma propriedade que tenha uma potência elêtrica instalada de 10,0 kWh e um fator de carga de 5%, a aquisição de energia elétrica sô é vantajosa para adensamentos superiores a 1,25 consumidores por km de linha. No caso de as propriedades encontrarem-se mais distantes a auto-geração de energia elétrica via biogás é mais econômica.

A seguir são apresentados dois exemplos da utilização de biogás em atividades produtivas, que resultam da experiência de sistemas reais construídos e em operação em unidades da EMBRAPA.

Estes dois exemplos enfatizam os estágios de aplicação das fontes

alternativas de energia nas atividades agropecuárias: no primeiro é mostrado um exemplo de substituição de combustíveis; no segundo o biogás é utilizado para aumentar a produção de alimentos.

No item seguinte será desenvolvido o conceito de um outro sistema de produção de bovinos em confinamento, apoiado na utilização do biogás para irrigação e do biofertilizante para o cultivo de forrageiras.

#### 4.1 - Substituição de eletricidade por biogás em uma criação de suínos

No Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves, da EMBRAPA, situado em Concórdia, (SC) está em funcionamento um biodigestor que tem como objetivo principal suprir a energia para o importante setor da maternidade que anteriormente dispunha de energia elétrica. A Figura 1 apresenta uma planta esquemática da instalação.

O sistema de biodigestão compreende uma caixa de coleta do efluente da pocilga, de 4 m<sup>3</sup> de capacidade, o biodigestor modelo indiano modificado e uma caixa de descarga de 4 m<sup>3</sup>.

Na caixa de carga está instalada uma serpentina conectada a um aquecedor de água a biogás e que tem como função aquecer a biomassa que vai entrar no biodigestor.

A capacidade do digestor é de 70 m<sup>3</sup>, com campânula em chapa de ferro. A biomassa em digestão é recirculada periodicamente para evitar a formação de crostas e depósitos, através de uma bomba centrífuga acionada a biogás.

Neste sistema de produção, o biogás alimenta (além do aquecedor de água e da bomba já citados):

- dez campânulas de aquecimento de leitões, que substituíram igual

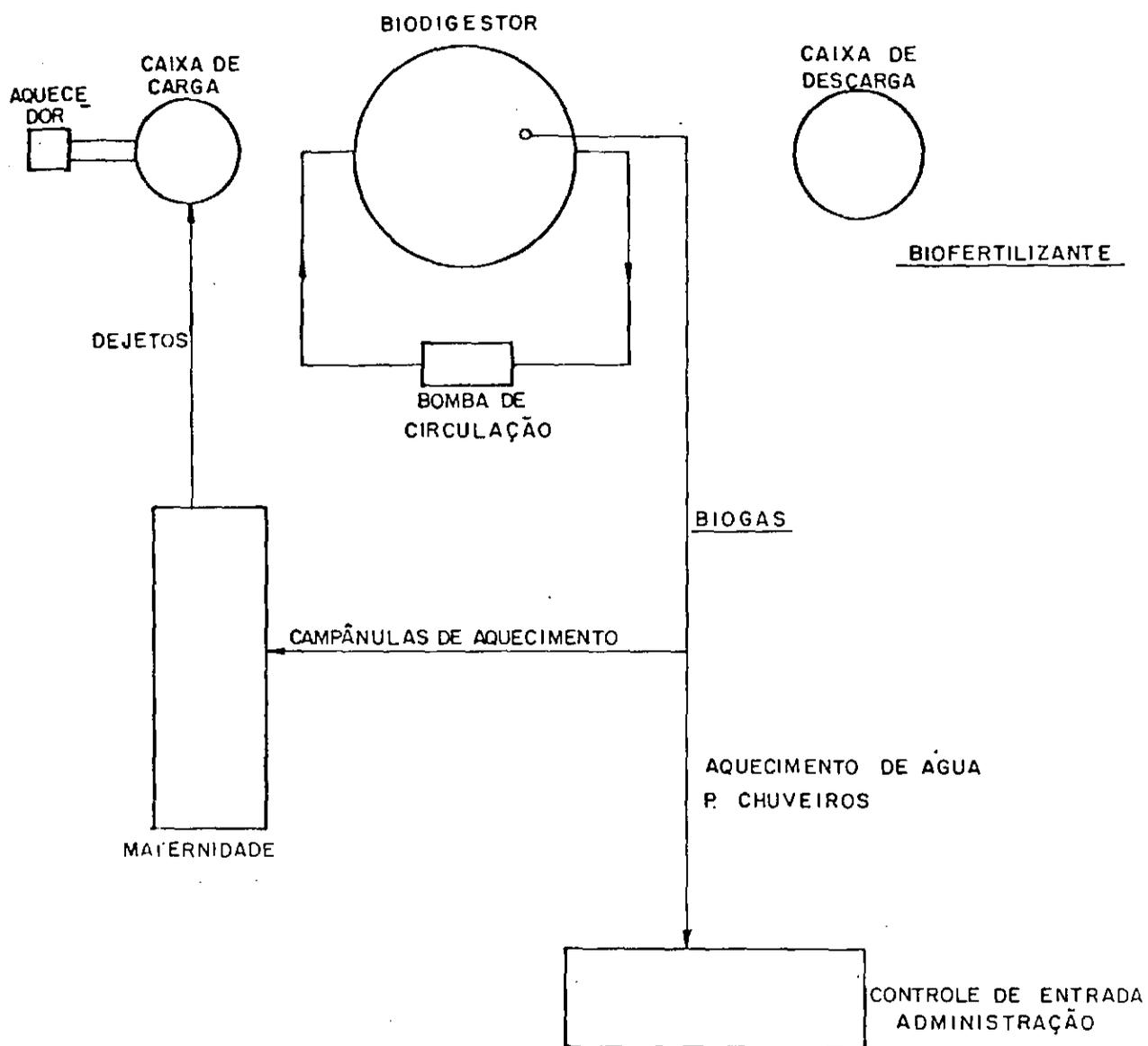


FIGURA 1 - Planta da Instalação do Biodigestor do CNP Suínos e Aves-Concórdia

nº de lâmpadas elétricas de 250 W, tendo-se constatado que as cam  
pânulas fornecem mais calor do que as lâmpadas e não precisam fi  
car acesas dia e noite, como as lâmpadas ficavam.

- dois aquecedores a biogás, com capacidade de 80 l cada um para uti  
lização nos chuveiros de desinfecção; os aquecedores substituíram  
9 chuveiros elétricos de potência unitária nominal de 4.000 W.

A produção de biogás e a utilização nos equipamentos ainda não estão  
otimizados, tendo-se obtido na operação dos meses de agosto e setembro de 1982  
os seguintes valores:

|  |                             |   |                        |            |
|--|-----------------------------|---|------------------------|------------|
| produção de biogás :                                 | 38 a 50 m <sup>3</sup> /dia | a | 20 cm H <sub>2</sub> O | de pressão |
| consumo no aquecimento e circu<br>lação da biomassa: | 15 a 20 m <sup>3</sup> /dia | a | 20 cm H <sub>2</sub> O | " "        |
| consumo na sala dos leitões                          | 20 m <sup>3</sup> /dia      | a | 18 cm H <sub>2</sub> O | " "        |
| consumo nos chuveiros                                | 10 a 15 m <sup>3</sup> /dia | a | 11 cm H <sub>2</sub> O | " "        |

A flutuação na produção de biogás é decorrente principalmente da va  
riação de temperatura. No inverno muito rigoroso, com dias de temperatura de até  
-3°C não houve condições de controlar adequadamente a temperatura interna do rea  
tor apenas pelo aquecimento da alimentação. Aliás, este é um problema que deve  
ser levado em consideração no projeto e instalação de biodigestores em regiões  
frias: a época mais fria do ano é aquela em que ocorre a maior demanda de biogás  
para aquecimento e é também a que as velocidades de produção de biogás são meno  
res, devido à temperatura mais baixa.

A seguir procura-se efetuar uma avaliação econômica da substituição  
da energia elétrica, já instalada e em operação, pela energização através do bio  
gás, usando-se os coeficientes e valores obtidos no CNPSA.

A principal vantagem econômica em utilizar o biogás é deixar de pagar

as tarifas de energia elétrica e este será o parâmetro usado para comparação.

Em primeiro lugar deve-se calcular a tarifa da energia elétrica substituída pelo biogás, e que no caso será considerada "Receita" do uso do biogás.

O consumo de energia elétrica pode ser avaliado:

1. nas salas de leitões.

Dez lâmpadas de 250 W, ligadas dia e noite, representam um consumo anual de:

$$10 \text{ lâmpadas} \times 250 \text{ W} \times 24 \text{ h} \times 365 \text{ dias} = 21.900 \text{ kW.h.}$$

2. nos chuveiros: segundo informações do CNPSA os chuveiros são usados diariamente para 100 banhos, que têm duração média não superior a 5 minutos. O consumo anual de energia elétrica é de:

$$100 \text{ banhos} \times 4.000 \text{ W} \times \frac{5 \text{ h}}{60} \times 365 \text{ dias} = 12.166 \text{ kW.h}$$

A preços atuais o CNPSA paga Cr\$ 14,50/kW.h o que significa que o custo atual da energia elétrica substituída pelo biogás é de:

$$(21.900 \text{ kW.h} + 12.166 \text{ kW.h}) \times \frac{\text{Cr\$ } 14,50}{\text{KW.h}} = \text{Cr\$ } 493.957,00$$

Os custos de instalação e operação do biodigestor são calculados a partir dos seguintes dados:

a. investimento inicial: o sistema da biodigestão custa aproximadamente Cr\$ 1.500.000,00. Os equipamentos (bombas, aquecedores, câmpulas, tubulações, manômetros, filtros) representam investimento de Cr\$ 600.000,00.

- b. operação: o custo adicional de operação do sistema de criação de suínos devido ao biodigestor consiste em um operário em meio período para efetuar a carga e a descarga da biomassa e efetuar as leituras nos medidores de gás e de pressão. O custo do operário foi considerado a Cr\$ 90,00/h, durante 365 dias;
- c. custo de oportunidade do esterco de porco: considerou-se que o custo do esterco seria idêntico ao custo do biofertilizante;
- d. depreciação: o período de vida útil do biodigestor está estimado em 15 anos, e a dos equipamentos em 7 anos;
- e. manutenção: a manutenção do biodigestor está estimada em 2% do investimento, enquanto para os equipamentos o percentual previsto é de 10%.

A Tabela 2 apresenta um resumo dos custos e a "Receita" imputada foi a economia na tarifa de energia elétrica.

Deve-se observar que o índice de rentabilidade deste empreendimento é de apenas 4,1%, o que, em outras palavras significaria um tempo de amortização do investimento da ordem de 24 anos, que é muito superior à vida útil estimada do sistema.

Este resultado indica que nas circunstâncias em que foi efetuada (desativando parte de um sistema que estava em funcionamento e já amortizado) a substituição da energia elétrica por biogás não é uma alternativa vantajosa.

O biogás pode ser muito rentável, entretanto, quando substituir óleo diesel nas atividades agropecuárias. Aproveitando o exemplo em pauta, pode-se calcular o custo do combustível para realizar as operações em que hoje se usa biogás.

TABELA 2 - CUSTOS E RECEITA DA SUBSTITUIÇÃO DE PARTE DA ENERGIA ELÉTRICA POR BIOGÁS EM UMA CRIAÇÃO DE SUÍNOS. (em Cr\$ de novembro/82)

|   |           |
|---|-----------|
| A - INVESTIMENTOS                                   | 2.100.000 |
| 1. Biodigestor                                      | 1.500.000 |
| 2. Equipamentos                                     | 600.000   |
| B - CUSTOS ANUAIS                                   | 407.114   |
| 3. Mão-de-obra (operador)                           | 131.400   |
| 4. Manutenção do biodigestor<br>(2% de 1.)          | 30.000    |
| 5. Manutenção do equipamento<br>(10% de 2.)         | 60.000    |
| 6. Depreciação do biodigestor<br>(15 anos)          | 100.000   |
| 7. Depreciação dos Equipamentos<br>(7 anos)         | 85.714    |
| C - RECEITA ANUAL                                   |           |
| 8. Economia de energia elétrica                     | 493.957   |
| D - ANÁLISE FINANCEIRA                              |           |
| 9. Receita anual líquida (C-B)                      | 86.843    |
| 10. Índice de rentabilidade<br>(Rec. Líq./A x 100%) | 4,1       |
| 11. Tempo de Amortização (anos)                     | 24,1      |

Tomando-se como média um consumo diário de 45 m<sup>3</sup> de biogás, e admitindo-se idênticas eficiências de combustão nos motores, o consumo de óleo diesel é dado pela relação dos poderes caloríficos dos dois combustíveis. Assim, o consumo de diesel é de:

$$\frac{45 \text{ m}^3 \text{ de biogás} \times 6.000 \text{ kcal}}{10.000 \text{ kcal}} = 27,0 \text{ l diesel}$$

m<sup>3</sup> biogás  
l . diesel

Ao custo do óleo diesel de Cr\$ 84,00/litro, o custo anual seria de Cr\$ 827.820,00.

Caso o combustível substituído por biogás no CNP-SUINOS E AVES tivesse sido o óleo diesel, e supondo-se os mesmos valores dos custos da Tabela 2, a receita anual líquida seria de Cr\$ 420.706,00, o que acarretaria um prazo de amortização do investimento de apenas 5 anos.

Este não é um exemplo real mas pode servir como indicação para propriedades que ainda hoje utilizam o óleo diesel no acionamento de motores para geração de energia elétrica.

#### 4.2 - Aumento da produção de alimentos pela disponibilidade de energia

É apresentado a seguir um exemplo de grande importância onde se comprova que a disponibilidade de combustíveis alternativos produzidos localmente e a baixo custo pode ser um fator decisivo de progresso tecnológico nas atividades agropecuárias. O exemplo refere-se à adoção da prática da segunda ordenha (vespertina) potencializada pela instalação de um resfriador de leite acionado a biogás. ( 5 ).

No caso de um produtor de leite que não disponha de energia elétrica em sua propriedade e nem tampouco tenha condições de instalá-la a curto prazo, o acionamento do resfriador (e dos demais equipamentos) a biogás é uma boa solução como será demonstrado a seguir. O exemplo foi elaborado da observação da fazenda modelo no CNP-GADO DE LEITE e generalizado para um produtor hipotético.

Deve-se ressaltar que o modelo proposto já está em pleno funcionamento na mencionada fazenda modelo.

Supõe-se que um produtor tenha rebanho de 85 cabeças e que 33 estejam em lactação. Este produtor já disporia de uma tecnologia mínima, com alimentação e manejo adequado para duas ordenhas, mas devido à falta de capacidade de conservação do leite durante o período entre a 2ª ordenha e a manhã seguinte (pressupõe-se que a cooperativa local efetue o recolhimento do leite apenas na parte da manhã), não poderia este produtor hipotético vender o leite que obteria na 2ª ordenha. Este pecuarista já teria efetuado alguns testes e constatado que seria possível a obtenção de dois litros (e até mais) adicionais de leite na 2ª ordenha por animal.

As hipóteses e cálculos a seguir procurarão estabelecer a rentabilidade de um biodigestor que sirva principalmente para a unidade de resfriamento do leite da 2ª ordenha.

Em primeiro lugar trata-se da parte dos investimentos. Neste exemplo, ilustrar-se-á o caso de um biodigestor de pequeno porte (com volume de 10 m<sup>3</sup>) cujo custo de construção (campânula, alvenaria, tubulações, registros e outros acessórios) foi estimado em Cr\$ 400.000,00. O custo real de um biodigestor depende de seu tamanho e outros fatores que variam de acordo com cada caso.

Em seguida leva-se em conta a instalação de uma unidade de resfriamento de leite. No exemplo, considera-se uma unidade com capacidade para 200 litros/dia, que custa Cr\$ 270.000,00, acompanhada de um motor de 2,1 HP estimado em Cr\$ 70.000,00 a nível de revendedores. A análise completa do investimento teria que levar em conta todos os usos do biodigestor, principalmente aqueles voltados a atividades produtivas. Entretanto para simplificar os cálculos, optou-se pela alocação de 65% da capacidade de biodigestor para a unidade de resfriamento do leite. Para tal fim estimou-se que o motor do resfriador funcione 4 horas por

dia, consumindo 0,92 m<sup>3</sup>/hora de biogás, perfazendo 3,68 m<sup>3</sup>/dia, sendo que o adicional da capacidade do biodigestor seria voltado a outras atividades produtivas e para o uso doméstico. Esta divisão de usos foi feita intencionalmente para reforçar o argumento de que o biodigestor deve ser usado para vários fins.

Considera-se agora que cada ano de funcionamento do biodigestor custa ao produtor, direta ou indiretamente, os seguintes itens:

- a) Mão-de-obra do operador: 2 horas diárias para carga, descarga e limpeza do biodigestor, ao preço de Cr\$ 90,00/h, durante 365 dias por ano;
- b) Mão-de-obra da 2ª ordenha: 4 horas diárias;
- c) Custo de oportunidade do esterco de curral: considerou-se custo de oportunidade do esterco igual ao preço de venda do biofertilizante;
- d) Ração animal: ração suplementar de 0,5 kg/cab.dia, a Cr\$ 42,00 o quilo;
- e) Depreciação e Manutenção: a depreciação estima-se em 10% a.a. dos investimentos e a manutenção em 2,5% para pintura, limpeza interna.

A única receita anual aqui prevista é a venda adicional de leite, com preço de Cr\$ 44,00/litro. Efetuaram-se os cálculos para duas alternativas prevendo a primeira 2,0 litros de leite adicionais por vaca em lactação e a segunda 1,5 litro, resultante da segunda ordenha, que representam respectivamente 20 e 15% de incremento na produção global de leite.

A análise financeira está apresentada na Tabela 3. Como se observa em qualquer dos casos existe uma rentabilidade que é condizente com os níveis

## 5. PROPOSTA DE UM NOVO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE BOVINOS EM CONFINAMENTO

A proposta de um novo sistema de confinamento de bovinos de corte tem como intuito principal demonstrar a possibilidade de resolver em conjunto os problemas de suprimento de energia e de produção de alimentos. Não tem como objetivo efetuar um detalhado dimensionamento nem uma completa avaliação econômica.

A Figura 2 apresenta, em essência, o sistema considerado, do qual alguns aspectos serão analisados.

A produção de capineiras irrigadas não é prática muito comum no Brasil. Na Austrália, entretanto, em regiões de clima e altitude semelhante às do Centro-Oeste, a utilização de pastos irrigados foi introduzida na década de 1960. As capineiras irrigadas apresentam a apreciável vantagem de se dispor de alimentos para o gado durante todo o ano, e o que é mais importante, com razoável constância do teor de proteínas e valor nutricional.

O suprimento de energia para irrigação constituir-se-á no biogás produzido a partir dos dejetos dos animais.

Também de importância fundamental é o biofertilizante que será utilizado na adubação das capineiras. E neste caso faz sentido o alerta de PRATT ( 9 ) de que o esterco deve ser submetido à biodigestão antes da aplicação nas pastagens.

Se for tomada como base de cálculo a engorda de 100 animais em confinamento, pode-se efetuar um primeiro balanço material e energético do sistema.

O consumo anual de capim, para obtenção de ganho de peso (médio no ano) de 0,6 kg/cab.dia é da ordem de 4 toneladas em base seca.

Utilizando-se capim napier irrigado é possível a obtenção de 4 cortes anuais, com produtividade de 200 t massa verde/ha. ano, o que corresponde à pro

alcançáveis em outras alternativas de investimento, uma vez que as taxas internas de retorno são superiores a 15%.

TABELA 3 - CUSTOS E RECEITAS DO USO DO BIOGÁS PARA RESFRIAMENTO DE LEITE

(Em Cr\$ de Novembro/1982)

|   | Alternativa 1<br>2 L/animal | Alternativa 2<br>1,5 L/animal |
|---|-----------------------------|-------------------------------|
| A - INVESTIMENTOS                             | 600.000                     | 600.000                       |
| 1. 65% valor do biodigestor                   | 260.000                     |                               |
| 2. Motor 2.1 CV a biogás                      | 70.000                      |                               |
| 3. Resfriador de leite                        | 270.000                     |                               |
| B - CUSTOS ANUAIS                             | 525.045                     | 525.045                       |
| 4. Mão-de-obra (operador)                     | 65.700                      |                               |
| 5. Mão-de-obra (2ª ordenha)                   | 131.400                     |                               |
| 6. Ração adicional                            | 252.945                     |                               |
| 7. Depreciação                                | 60.000                      |                               |
| 8. Manutenção                                 | 15.000                      |                               |
| C - RECEITAS ANUAIS                           |                             |                               |
| 9. Venda de leite adicional (Cr\$ 44,00/L)    | 1.059.960                   | 794.970                       |
| D - ANÁLISE FINANCEIRA                        |                             |                               |
| 10. Receita anual líquida                     | 534.915                     | 269.925                       |
| 11. Índice de rentabilidade (Rec.Liq. x 100%) | 89,2                        | 45,0                          |
| 12. Tempo de Amortização (anos)               | 1,1                         | 1,3                           |
| 13. Taxa interna de retorno (%)               | 88,9                        | 43,2                          |

Vale a pena comparar rapidamente os custos de energização via biogás e via eletricidade rural. A título de informação a respeito dos custos de implantação de linhas de transmissão pode ser citado um contrato efetuado através da SUDECO, (Superintendência de Desenvolvimento do Centro-Oeste) para 1774 km de linhas elétricas nos Estados de Mato Grosso do Sul, Goiás e no Distrito Federal, com uma potência total de 20.000 kw, atendendo a 2718 propriedades. Em julho de 1982 este contrato foi firmado por um custo total, incluindo transformadores locais, de Cr\$ 2,73 bilhões, o que representa um custo específico de Cr\$ ..... 1.540.000,00 por km de linha instalada, ou de Cr\$ 136.500,00/kw, para uma potência média disponível de 7,4 kw/propriedade.

O custo de implantação do sistema biodigestor-gerador de energia elétrica apresentado neste item é de Cr\$ 470.000,00. Tal sistema tem capacidade de produção de 5,0 m<sup>3</sup> de biogás por dia, que corresponde a uma potência elétrica de 5 x 4,7 kWh = 23,5 kWh. Supondo-se que a utilização do biogás para o resfriador de leite e para outros equipamentos seja feita por 4 h, tem-se uma "energia elétrica equivalente" de 5,8 kWh, o que representa um custo específico de instalação do sistema de Cr\$ 81.034,00/kWh.

Assim, vê-se que o sistema de energização via biogás, com o intuito de introdução da segunda ordenha, além de aumentar em 15 a 20% a produção de leite e a renda do produtor ainda é o de instalação mais barata.

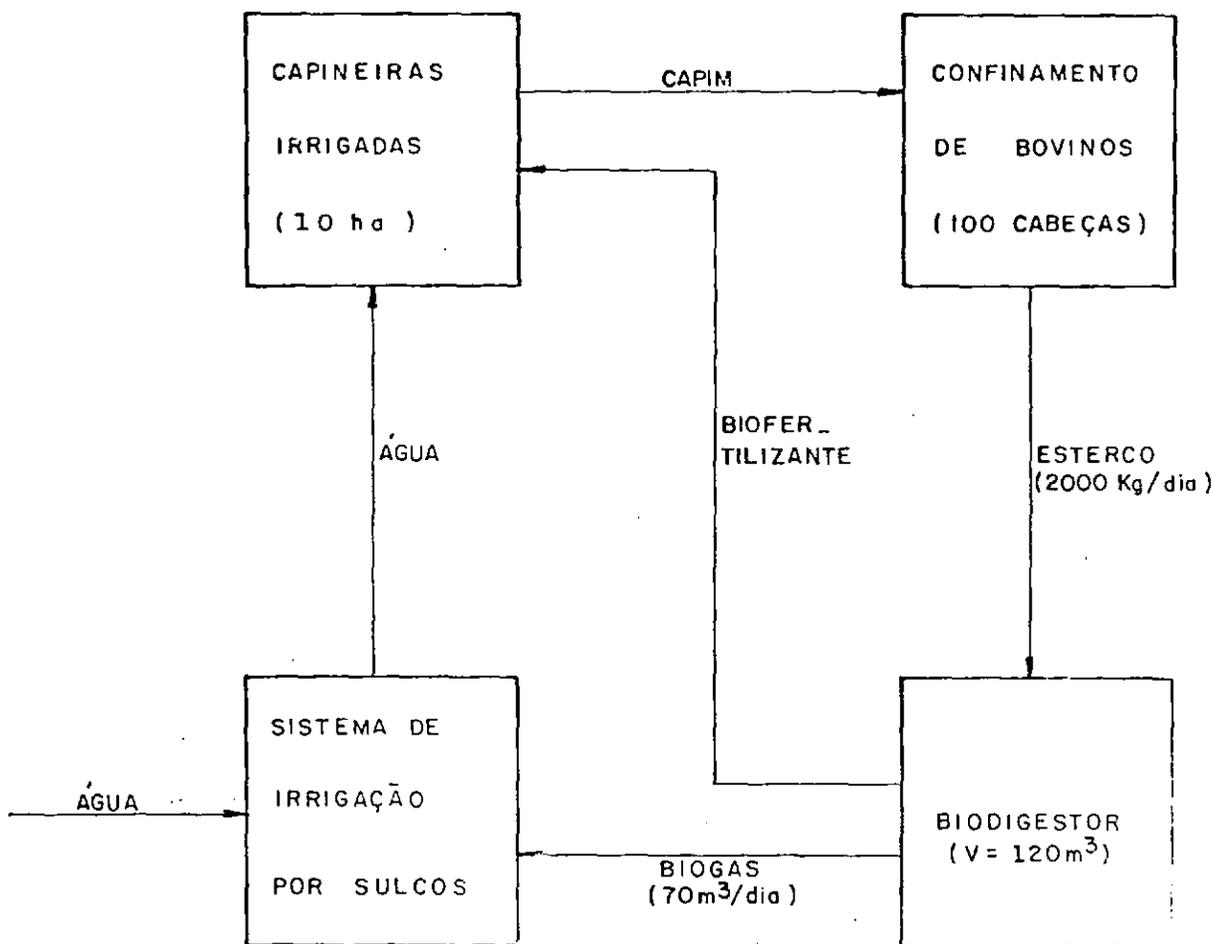


FIGURA 2 - Utilização do biogás para confinamento animal mantido com capineiras irrigadas -  
Base de cálculo - cem cabeças

dução de 50 t massa seca/ha.ano.

Assim, um hectare de capim irrigado pode sustentar até 12,5 cabeças/ano e deste modo a área total necessária para as 100 cabeças seria de 8.ha. Por medida de segurança será considerada que as capineiras devem ter 10 ha.

Optou-se pelo capim napier pela facilidade de cultivo em linha, o que permite que a irrigação seja feita por sulcos, com economia de energia de bombeamento de água.

Para se calcular a energia dispendida com irrigação admitiu-se que a cultura tem necessidade efetiva de 7 mm de água/dia. Contando-se com as perdas pode-se estimar que a lâmina bruta diária de água seja 10 mm, o que leva a um consumo diário de água em toda a área de 1000 m<sup>3</sup> o que equivale à utilização em 100 dias efetivos de irrigação de 100.000 m<sup>3</sup>/ano.

A vazão é calculada adotando-se 20 h de bombeamento diário, encontrando-se  $Q=50 \text{ m}^3/\text{h}$

Embora a topografia real seja importante para o cálculo da energia do bombeamento, neste exemplo ilustrativo imaginou-se uma área aproximadamente retangular de 400 m x 250 m, com desnível de 4% e que a tubulação de recalque de água desde a captação até ao canal principal tenha 300 m.

Os parâmetros usados para o cálculo de potência efetiva da bomba foram:

- 5.1 - tubo de alumínio, diâmetro: 6"
- 5.2 - altura de sucção de bomba: 3 m.c.a
- 5.3 - altura de recalque da bomba:  $(300 \times 0,04) = 12 \text{ m.c.a}$
- 5.4 - perda de carga da tubulação: 5 m.c.a
- 5.5 - perda de carga em conexões e válvulas (aproximada): 2 m.c.a

5.6 - altura manométrica total:  $\Delta H = (12 + 3 + 5 + 2) = 24$  m.c.a

5.7 - eficiência global da bomba (motor + rotor)  $\eta = 0,65$

Usando-se a fórmula:

$$P_{ef.} = \frac{Q/3,6 \cdot \Delta H}{75 \cdot \eta}$$

Obtêm-se  $P_{ef.} = 6,9$  HP.

Como a irrigação é utilizada por 20 h, a energia mecânica é de:  
 $6,9 \text{ HP} \times 20 \text{ h} = 138 \text{ HP.h}$

Para se calcular a energia suprida pelo biogás, utilizam-se os seguintes valores:

5.8 - produção diária de esterco fresco : 20 kg/cab.

5.9 - produção de biogás = 35 ℓ de biogás/kg esterco

5.10 - combustão de biogás em motores: 2,2 HP.h/m<sup>3</sup> biogás

A energia diária disponível para o acionamento da bomba é de:

$$E = 100 \text{ cab.} \cdot \frac{20 \text{ kg esterco}}{\text{cab.}} \cdot \frac{0,035 \text{ m}^3 \text{ biogás}}{\text{kg esterco}} \times 2,2 \text{ HP.h} = 154 \text{ HP.h}$$

Como se observa a energia disponível é cerca de 10% superior à energia necessária, o que faz o sistema de bombeamento ser independente de suprimento de energia externa.

O volume do biodigestor para esse processamento é facilmente calculado, admitindo-se a razão de produção de 0,6 m<sup>3</sup> biogás/m<sup>3</sup> biodigestor.dia

Sendo o volume de biogás de 70 m<sup>3</sup>/dia (= 2.000 kg esterco x 0,035 m<sup>3</sup> biogás/kg esterco), o volume mínimo de biodigestão é de: 116 m<sup>3</sup> e assim admite-se um volume de 120 m<sup>3</sup>.

Este volume pode ser diminuído caso se adote tecnologias de investimento inicial maior que podem levar à obtenção de até 1,0 m<sup>3</sup> biogás/m<sup>3</sup> biodigestor/dia.

- Finalmente para o cálculo do biofertilizante disponível foram considerados:

5.11 - operação de biodigestão: 365 dias/ano

5.12 - concentração de sólidos totais no efluente: 7%

5.13 - concentração de nitrogênio no efluente: 1,7% (base seca)

5.14 - concentração de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) no efluente: 1,2% (base seca)

5.15 - concentração de potássio (K<sub>2</sub>O) no efluente: 0,7% (base seca)

5.16 - volume diário de efluente: 4 m<sup>3</sup>

Por hectare, as quantidades anuais disponíveis para aplicação são:

Nitrogênio (N): 173,7 kg/ha

Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>): 122,6 kg/ha

Potássio (K<sub>2</sub>O): 50,5 kg/ha

As necessidades de adubação dependem, evidentemente, do tipo e fertilidade do solo, de modo que "a priori" é difícil avaliar que porcentagem dos insumos representam os valores calculados, podendo-se entretanto inferir que o aproveitamento do biofertilizante diminuirá sensivelmente os custos de produção.

Como ressaltado no início deste item, o exemplo proposto tem efeito ilustrativo, mas o potencial de produção de alimentos num sistema como o proposto é excepcional, quando se lembra que a taxa normal de ocupação dos pastos não chega a 1 cabeça/ha.ano.

Este é uma das inúmeras configurações que se podem imaginar na integração de sistemas energéticos e de produção de alimento, ( 6 ) que resultam em

ganhos apreciáveis de eficiência energética, melhoram as condições de vida dos trabalhadores rurais, aumentam a rentabilidade do investimento e não tem efeitos danosos sobre o meio ambiente.

## 6. CONCLUSÕES

No Brasil, como em outros países, a utilização de biodigestores foi introduzido com o intuito de melhorar o nível de vida do habitante do setor rural (que é uma aspiração natural) e a de aumentar o nível de utilização de energia e fertilizantes nas atividades produtivas. O que se notou, entretanto, é que o segundo objetivo ainda não foi inteiramente alcançado.

Os exemplos apresentados nos itens 4 e 5 buscaram apresentar os três possíveis estágios de adoção de fontes alternativas de energia para as atividades produtivas no setor rural (que foram apresentadas na introdução) e pode-se concluir que:

- . a substituição de energia elétrica já instalada e em operação, por biogás ainda não é economicamente viável;
- . a energização da propriedade através do biogás, é em muitos casos, mais vantajosa do que a instalação de redes de energia elétrica;
- . a substituição de óleo diesel por biogás é economicamente viável, em propriedades que disponham de esterco animal;
- . quando o biogás for utilizado para atividades produtivas a rentabilidade aumenta bastante, como demonstrado pelos índices apresentados para o caso da produção de leite de 2a. ordenha, possibilitada pela disponibilidade de energia;
- . quando o biodigestor for utilizado como parte do sistema de produção, (conforme demonstrado pela proposta do confinamento de bovinos) as produtividades deverão ser muito maiores e os custos de produção poderão ser expressivamente diminuídos.

Como conclusão geral, pode-se afirmar que quanto maior for a integração entre os sistemas de produção de alimentos e os sistemas de energização rural, tanto maiores serão a eficiência energética e a rentabilidade econômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. COSTA, G.J; GRAZIANO, J.R. - Uso da Energia Elétrica na Zona Rural - Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 9, Campina Grande-PB - 1979, ANAIS.. Campina Grande - U.F.Pb, p 420-31, 1980.
2. DECHER, W. M. & STEELE, J.H. - Health Aspects and Vector Control Associated With Animal Wastes In: National Symposium on Animal Waste Management . East Lansing, Michigan, State University, 1966. PROCEEDINGS, St. Joseph America Society of Agricult. Engineers, pg. 18-20, 1966.
3. EMBRATER - Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural - BIOGÁS Catálogo dos Fornecedores de Equipamentos e Serviços, Brasília, sd, np.
4. FINCH, E. O - Consumo Energético da Mão-de-Obra Rural Brasileira - Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 9 - Campina Grande, PB - 1979, ANAIS Campina Grande, U.F.Pb, p. 414-9, 1980.
5. GORGATTI NETTO, A. As perspectivas da Agroenergia no Brasil e o Programa de Pesquisa em Energia da EMBRAPA. In: Seminário Latino Americano de Bio-energia, Curitiba, out., 1981 - 123 p.
6. GORGATTI NETTO, A. & SOUSA DIAS, J.M.C. - Sistemas Rurais de Bioenergia. Trabalhos de Pesquisa e Desenvolvimento. Simpósio de Agroenergia no Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, maio de 1982, 13 p.
7. HESPAHOL, I. - Os efeitos do Programa Nacional do Alcool sobre o meio ambiente. Energia. 1 (5): 23-45 - nov/dez. 79.
8. NATIONAL RESEARCH COUNCIL - Methane Generation from Human Animal and Agricultural Wastes. Washington, D. C. - N.A.S., 1977, p 53-8.
9. PRATT, R.F. - Management restriction in soil application of manure. J. Anim. Sci. Champaign, 48 (1): 134-43, 1979.
10. REVELLE, R. - Energy Use in Rural India Science, 192: 969-75, jun. 1976
11. SANTOS, A. H. M. & NOGUEIRA, L.A.H. - Uma análise comparativa da eletrificação rural entre as opções: linha de distribuição e auto-geração com uso de biogás. Seminário Interno de Pesquisas da Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, np. 1981.

12. SMITH, R.L. - Energy and the Environment. In: Energy, Environment, and the Economy Ed. MAJUNDAR, S.K. The Pennsylvania Academy of Science, Eaton, pag. 47-61, 1981.
13. VIEIRA, O.J. & ANDRADE, D. S. - Utilização de Eletrodomésticos e de motores no meio rural da Região de Lavras, MG - Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 9, Campina Grande, PB - 1979. ANAIS., Campina Grande, U.F.Pb - p. 393-407, 1980.