

# VIABILIDADE DA COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA COM BIOGÁS DA BOVINOCULTURA DE LEITE

## **Anderson Coldebella**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE  
Mestrando do Curso de Engenharia Agrícola  
85814-110 Cascavel – Paraná  
e-mail: [andersonpesca@yahoo.com.br](mailto:andersonpesca@yahoo.com.br)

## **Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE  
Professor Orientador do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola  
85814-110 Cascavel – Paraná  
e-mail: [ssouza@unioeste.br](mailto:ssouza@unioeste.br)

## **Juliano de Souza**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE  
Bolsista CNPQ – Fomento Tecnológico  
85814-110 Cascavel – Paraná

## **Ana Carolina Koheler**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE  
Bolsista DPI - CNPQ  
85814-110 Cascavel – Paraná

## **Resumo**

As conquistas tecnológicas relacionadas a evolução do setor agrícola são dependentes de alguma forma de energia, dentre elas, podemos destacar a energia elétrica que tem alto custo e os derivados de petróleo, que estão se esgotando com o passar dos anos, gerando oscilações de preço, insegurança quanto ao fornecimento futuro além de serem altamente poluentes. O Brasil já apresenta tradição no uso de fontes renováveis de energia, destacando-se a energia hidroelétrica que 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 a gasolina (derivado do petróleo) para substituí-la. Apesar de termos esta tradição e de já estarmos utilizando algumas fontes renováveis de energia, ainda temos outras fontes com potencial que são pouco exploradas, tais como, a energia solar, energia eólica e a biomassa.

Por se tratar de um país tropical, o Brasil, apresenta um enorme potencial para produção de biomassa vegetal, além de produzir resíduos industriais e dejetos gerados pela atividade agroindustrial. A região oeste de Paraná destaca-se pela produção gerada pelas agroindústrias, porém, com o aumento da demanda e conseqüentemente o aumento da produção, a geração de esterco, seja ele de bovinos, suínos, aves ou de qualquer outro tipo de animal vem se tornando um sério problema ambiental. Estes 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 própria propriedade, reduzindo os custos de produção. A eficiência dos sistemas de cogeração varia em função da composição do biogás e do equipamento utilizado para conversão, podendo chegar a 38%, que equivale a 2,0 a 2,5 kWh por m<sup>3</sup> de biogás.

Este trabalho tem por objetivo avaliar a viabilidade da produção de energia elétrica a partir do biogás gerado por dejetos da bovinocultura de leite, utilizando um motor de combustão interna convertido para o biogás e acoplado a um gerador elétrico.

## **Abstract**

The technological conquests related to the evolution of the agricultural sector are dependent on some form of energy, among them, we can emphasize the electrical power, which has a high cost, and the derivatives from petroleum, which are depleting with the years, generating price oscillation, insecurity about the further supplying, besides being highly polluters. Brazil already presents a tradition in the use of renovating sources of energy, emphasizing the electrical power, which is responsible for more than 80% of all electricity consumed in the country, followed by ethanol, a derivative from sugar cane that can be used pure or mixed with gasoline (derivative from petroleum) to substitute it. Although we have this tradition and we are already using some renovating sources of energy, we still have other sources with potential that are little exploited such as the solar energy, eolic energy and the biomass.

Due it's a tropical country, Brazil shows a huge potential to the production of vegetal biomass, besides of produce industrial residues and residues generated by the agro industrial activity. The western region is emphasized by the production generated by the agro industries, but, with the increasing of the demand and consequently the increasing of the production, the generation of manure, from bovines, pork, chicken or any other kind of animal is becoming a serious environmental problem. Those residues are important raw materials to the production of biogas, a fuel similar to the natural gas that can be converted in electrical, thermal or mechanical power inside the facility, reducing the costs of production. The efficiency of the co-generation systems varies according the composition of the biogas and the equipment used to the conversion, being possible reach 38%, that is equivalent to 2,0 to 2,5kWh by m<sup>3</sup> of biogas.

This work has as objective evaluate the feasibility of the production of electrical power from the biogas generated by residues of the milk bovine culture, using an engine of internal combustion converted to biogas and linked to an electrical generator.

## **Introdução**

O desenvolvimento de tecnologias que utilizem fontes renováveis de energia torna-se atrativas tanto ambientalmente como socialmente, pois possibilitam a criação de fontes de suprimento descentralizadas e em pequena escala, e isto, torna-se fundamental para o desenvolvimento sustentável para países desenvolvidos e para os que estão em desenvolvimento.

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

Os sistemas de confinamento de bovinos leiteiros, geram um considerável volume diário de dejetos, que são compostos orgânicos de alto teor energético, ricos em matéria orgânica e agentes patogênicos (Amaral, 2004). Estes dejetos são frequentemente utilizados como fontes de adubação de forragens, porém, quando aplicados sem tratamento aumentam o potencial de poluição.

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

## **Fontes alternativas e renováveis de energia**

A necessidade de atender a demanda energética nas diversas áreas causando o mínimo de impacto seja ele social ou ambiental, faz surgir a busca e exploração de fontes energéticas alternativas. As tecnologias que convertem a energia disponível na natureza, sejam do vento, da água, do sol ou dos combustíveis fósseis permitem que o homem aumente sua capacidade de trabalho (Gadanha et al., 1991). No setor agrícola, o aumento na produção de alimentos esta diretamente relacionado a produção de energia (Kolling, 2001).

Para Lorenzo (1994), a eficiência energética e redução no consumo, bem como o fornecimento futuro da demanda, deverão ser baseados nas fontes renováveis, que deverão formar 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. Souza (1993), que o aproveitamento dos potenciais citados surgem como alternativas não poluentes e economicamente viáveis em determinadas condições para atividades agrícolas.

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

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

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 (edição 2003), a participação da biomassa na matriz energética brasileira é de 27%, a partir da utilização de lenha de carvão vegetal (11,9%), bagaço de cana-de-açúcar (12,6%) e outros (2,5%). De acordo com a ANEEL, somente as centrais geradoras que utilizam o bagaço da cana tem capacidade de produzir 1.198,2 MW.

Por fim, a energia eólica, gerada pela força dos ventos serve tanto para produção de energia elétrica através das turbinas eólicas, como para realização de trabalhos mecânicos (bombeamento e moagem de grãos) através de cata-ventos. Em nosso país 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 do país para o setor é de 143.000 MW, sendo que 7.694,05 MW já foram autorizados, porém apenas 26,8 MW estão em operação, sendo que 65% deste total está concentrado no Ceará.

## **Biomassas**

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

De maneira geral podemos descrever a biomassa como a massa total de matéria orgânica que se acumula em um espaço vital. Desta forma 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 quando se teve início a chamada “era do petróleo” e a biomassa energética ficou praticamente esquecida, (Rosillo-Calle, 2000). Staiss e Pereira (2001) relatam que os elementos primários da biomassa podem ser convertidos através de diferentes tecnologias em bicombustíveis sólidos, líquidos ou gasosos, que por sua vez se transformam em energias térmica, mecânica e elétrica.

A produção de energia elétrica a partir da biomassa, atualmente, 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 da criação de animais estão sendo aproveitados para a geração de gás combustível e fertilizante, onde esta matéria orgânica é utilizada como substrato para bactérias metanogênicas (bactérias formadoras de gás metano) responsáveis pela produção de biogás.

Segundo Florentino (2003), os biodigestores tem sido alvo de grande destaque tendo em vista a crise de energia e conseqüente busca por fontes alternativas, ressaltando que os biodigestores são importantes no intenso processo de modernização da agropecuária, que demanda energia e gera resíduos animais e de culturas que pode ocasionar problemas de ordem sanitária.

## **Biogás**

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

O biogás é composto por uma mistura de gases que tem sua concentração determinada pelas características do resíduo e as condições de funcionamento do processo de digestão. É constituído principalmente por metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), geralmente apresenta em torno de 65% de metano, o restante é composto na 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 1.

TABELA 1- Composição do biogás.

Gás	Símbolo	Concentração no biogás(%)
Metano	CH <sub>4</sub>	50-80
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	20-40
Hidrogênio	H <sub>2</sub>	1-3
Nitrogênio	N <sub>2</sub>	0,5-3
Gás Sulfídrico e outros	H <sub>2</sub> S, CO, NH <sub>3</sub>	1-5

Fonte: La Farge, 1979.

A utilização do biogás como recurso energético se deve principalmente ao metano (CH<sub>4</sub>), quando puro em condições normais (PTN) de pressão (1 atm) e temperatura (0°), tem um poder calorífico inferior (PCI) de 9,9 kWh/m<sup>3</sup>. O biogás com um teor de metano entre 50 e 80% terá um poder calorífico inferior entre 4,95 e 7,92 kWh/m<sup>3</sup>, a Tabela 2, relaciona a equivalência energética do biogás de acordo com alguns autores.

TABELA 2 – Equivalência energética do biogás comparado a outras fontes de energia.

Energético	Ferraz&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)	-	0,79	0,80	-
Carvão M. (kg)	-	0,735	0,74	-
Lenha (kg)	-	1,538	3,5	1,6
Eletricidade (kWh)	1,43	1,428	-	6,5

Fonte: Ferraz&Mariel (1980), Sganzerla (1983), Nogueira (1986), Santos (2000).

Não importa qual a forma de utilização do biogás, sua utilização 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 irá proporcionar uma poupança de recursos, com importante valor econômico associado. O uso do biogás gera renda e economias, fato que desperta um crescente interesse por esta tecnologia (Santos, 2000).

## Capacidade de produção de biogás

Desde que as condições sejam adequadas ao desenvolvimento das bactérias anaeróbicas a digestão se realiza a partir de qualquer matéria orgânica, com a fermentação provocada pelas bactérias obtêm-se o biogás. Para cada fonte de matéria orgânica temos uma produção diferente de biogás, a Tabela 3, mostra a capacidade de produção de biogás a partir de resíduos pecuários comuns das propriedades rurais.

TABELA 3 – Produção de biogás a partir de resíduos pecuários.

Espécie pecuária	Unidade referência	Produção específica de biogás (m <sup>3</sup> /kg SV)	Produção diária (m <sup>3</sup> /animal/dia)
Suínos <sup>1</sup>	Porca reprodutora em ciclo fechado	0,45	0,866
	Porca reprodutora em criação de leitões	0,45	0,933
	Porco em exploração de engorda	0,45	0,799
Bovinos <sup>2</sup>	Vaca leiteira com 600 kg de peso	0,28	0,980
	Bezerro até 150 kg de peso	0,28	0,294
	Bovino engorda entre 120 a 520 kg de peso	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 de peso	0,28	1,225

Fonte: Santos, 2000.

### Analise econômica de produção de energia elétrica via biogás

A metodologia utilizada para determinação do custo de produção da energia elétrica por cogeração via biogás, é descrita por Souza et al. 2004, onde os autores relatam que o custo esta relacionado ao capital investido na construção e manutenção do biodigestor e do sistema motor gerador.

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 esta 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 calculo se utilizou 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) serão considerados 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 se dará da seguinte forma:

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

Onde:

$C_e$  – 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)

Sendo que

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

<sup>1</sup> Chorume diluído com águas de lavagem.

<sup>2</sup> 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.

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

Onde:

CIG – Custo do investimento do motor gerador (R\$)

OM – Custo com operação e manutenção (%/ano)

CB – Custo do biogás (R\$/m<sup>3</sup>)

CNB – Consumo de biogás pelo conjunto motor gerador (m<sup>3</sup>/ano)

Para calcular a produção de eletricidade (PE), temos:

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

Onde:

Pot – Potência nominal da planta (kW)

T – Disponibilidade anual da planta (horas/ano)

O fator de recuperação de capital será dado por:

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

Onde:

FRC – Fator de recuperação de capital

j – Taxa de desconto (%ano)

n – Anos para amortização do investimento

O custo do biogás será dado por:

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

Onde:

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

PAB – Produção anual de biogás (m<sup>3</sup>/ano)

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

Onde:

CIB – Custo de investimento no biodigestor (R\$)

Para avaliarmos a viabilidade de geração de energia elétrica, determinaremos o tempo de retorno do investimento (TRI):

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

Onde:

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

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

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)

## Resultados e discussão

A propriedade em estudo possui um sistema de confinamento de gado leiteiro com 72 cabeças, conforme a Tabela 3 cada animal produz 0,98 m<sup>3</sup> de biogás diariamente, que resulta

uma produção total de 70,56m<sup>3</sup> de biogás/dia, disponíveis para serem transformados em alguma forma de energia. Para o tratamento destes dejetos é utilizado um biodigestor com 40x7x3m de comprimento, largura e profundidade respectivamente com um custo de implantação de R\$ 25.000,00, associado a este sistema de tratamento esta o conjunto motor/gerador composto por um motor da marca Ford de 4,9l e 55cv de potência a 1800 RPM, ano 1998, tradicionalmente utilizado no veículo F-1000 a gasolina e um gerador de baixa marca Kohlback, mod 180LB, 60Hz com capacidade de gerar 44kWh em regime contínuo com custo de implantação de R\$ 20.000,00. Atualmente toda esta estrutura está sendo subutilizada, pois a produção de energia elétrica se restringe apenas aos horários de ordenha e durante este período o rendimento do conjunto motor/gerador é de apenas 30cv e 20kWh.

O consumo de biogás do conjunto motor/gerador é de 0,646m<sup>3</sup>/cv, considerando que 1 kWh equivale a 0,7355cv, temos um consumo de 0,4751 m<sup>3</sup>/kWh. Segundo Santos (2000), 1 m<sup>3</sup> de biogás é equivalente a 6,5 kWh de energia elétrica e a eficiência dos sistemas de cogeração varia entre 30 e 38%, ou seja, 2,0 – 2,5 kWh, o que condiz com os resultados encontrados neste estudo que foram de 32,3% de eficiência e 2,1 kWh.

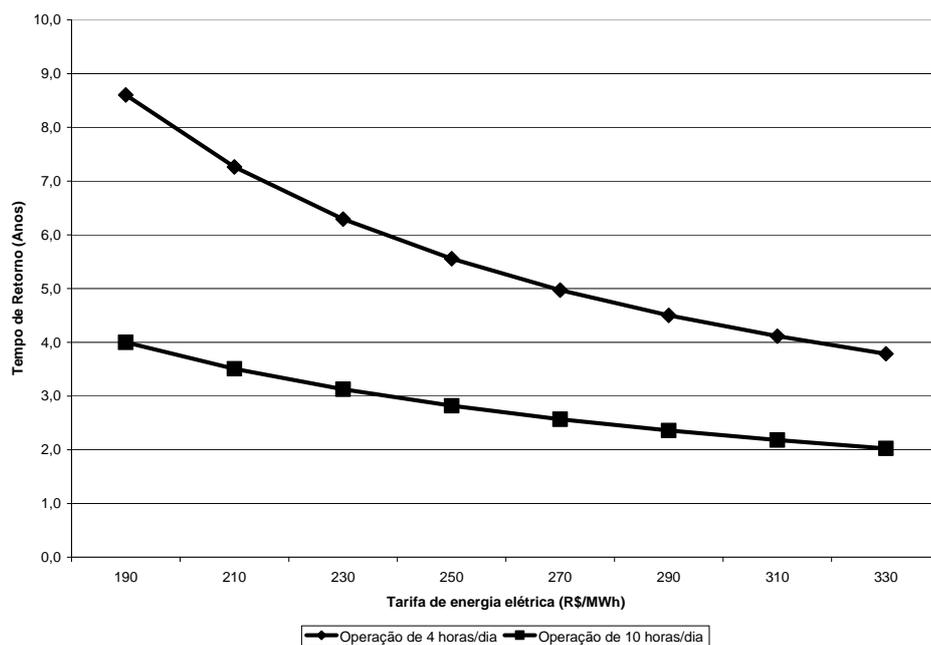
O custo da produção de energia elétrica via biogás estão diretamente relacionados aos tempos de amortização do investimento e de operação do sistema, a Tabela 4 mostra a relação do custo em função de utilizarmos o sistema nos horários de ponta para aliviar a rede (4 horas) e de forma contínua (10 horas), considerando uma produção de energia de 20 kWh. A utilização do sistema somente em horários de ponta se tornaria vantajosa se a tarifa paga as concessionárias de energia fosse diferenciada para os horários de ponta e fora de ponta, mas isto não ocorre no meio rural. Para as concessionárias, seria interessante e vantajoso incentivar as fontes renováveis alternativas para produção de energia em horários de ponta, o que alivia o sistema e diminui o investimento em usinas de ponta, para tanto seriam necessárias políticas diferenciadas para tarifas na ponta e fora da ponta.

TABELA 4 – Custo do biogás e geração de eletricidade.

<b>Tempo de amortização (anos)</b>	<b>Custo do Biogás (R\$/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Custo da Eletricidade (R\$/MWh), 4 horas de operação</b>	<b>Custo da Eletricidade (R\$/MWh), 10 horas de operação</b>
5	0,24	564,16	225,66
10	0,14	459,23	183,69
15	0,11	430,54	172,22
20	0,10	417,84	167,14

O tempo de retorno do investimento para este sistema de produção de energia elétrica operando por 4 ou 10 horas por dia está em função da tarifa de energia paga pelo produtor rural, Figura 1. Quanto maior for a tarifa, menor será o tempo de retorno do investimento (TRI), para uma tarifa de R\$ 190,00/MWh o TRI seria de 8,6 e 4 anos para 4 e 10 horas de operação respectivamente, se considerarmos uma tarifa de R\$ 270,00/MWh com o sistema trabalhando 10 horas por dia o tempo de retorno cai para 2,6 anos que pode ser considerado um bom resultado. Souza et al. 2004, cita que o tempo de retorno do investimento para uma propriedade rural com 258 matrizes de suínos, onde a implantação do biodigestor equivale a aproximadamente R\$ 200,00/suíno e o conjunto motor gerador cerca de R\$ 440,00/kW, é de 5,4 anos a uma tarifa de R\$ 130,00 MWh e um tempo de operação do sistema de 10 horas diárias.

FIGURA 1 – Tempo de retorno do investimento em sistema de geração de energia.



Em todo este processo o biogás é apenas um subproduto gerado pelo sistema de tratamentos dos resíduos produzidos pela bovinocultura, que quando aproveitado de forma adequada torna o produtor rural auto-suficiente em energia elétrica e paga o capital investido na implantação do biodigestor e do conjunto motor/gerador. O tempo de retorno pode ser ainda menor se biofertilizante produzido no biodigestor for aproveitado para fertirrigação viabilizando ainda mais o uso de biodigestores com forma de saneamento rural.

## Conclusão

Os resultados confirmam que a viabilidade do sistema esta diretamente relacionada a tarifa paga pelo produtor rural a concessionária de energia. O custo da energia produzida na ponta é de R\$ 564,16/MWh a um tempo de amortização de 5 anos, valor considerado alto mas que pode ser reduzido se avaliarmos o uso do biofertilizante. Já para geração durante 10 horas por dia, com o biogás a um custo de R\$ 0,24 o custo da energia encontrado foi de R\$ 225,66/MWh. Se a tarifa cobrada pela energia fosse de R\$ 190,00 e operando 10 horas por dia, o tempo de retorno seria de 4 anos, o que pode ser considerado razoável.

## Palavras-chave

Biogás, energia elétrica, bovinocultura.

## Referências

- [1] Amaral, C. C., Amaral, L. A., Lucas Junior, J., **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica.** Cienc. Rural, vol.34, nº.6, p.1897-1902, ISSN 0103-8478, nov/dez., 2004.
- [2] Ferraz, J. M. G., Mariel, I. E..**Biogás uma fonte Alternativa de Energia.** Brasil, 27p., 1980.
- [3] Florentino, H. O., **Mathematical tool to size rural digesters.** Cienc. Agrícola, vol.60, n.1. ISSN 0103-9016, jan/mar, 2003.
- [4] Gadanha, C. D., Molin, J. P., Coelho, J. L. D., Tomimori, S. M. A. W..**Máquinas e implementos agrícolas do Brasil.** 468p. São Paulo-SP, 1991.
- [5] Kolling, E. M., **Análise de um Sistema Fotovoltaico de Bombeamento de Água.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2001.
- [6] La Farge, B. **Le Biogaz – Procèdes de Fermentation Méthanique.** Paris, Masson, 1979.

- [7] Lorenzo, E., **Eletricidad solar – In genieria de los sistemas fotovoltaicos**. 184p., Progensa-Sevilha, Espanha, 1994.
- [8] Nogueira, L. A. H., **Biodigestão: A Alternativa Energética**. São Paulo, Nobel, 1986.
- [9] Palz, W., **Energia solar e fontes alternativas**. Ed. Hemus, 357p., Paris, França, 1995.
- [10] Rossilo-Calle, F. **The role of biomass energy in rural development**. In: Encontro de energia no meio rural – Agrener, 3, Campinas. Unicamp, 2000.
- [11] Santos, P. **Guia Técnico de Biogás**. CCE – Centro para a Conservação de Energia, Portugal, 2000.
- [12] Sganzerla, E., **Biodigestor; uma solução**. Agropecuária, Porto Alegre, 1983.
- [13] Souza, J. M., **Análise climatológica do potencial eólico no estado de Minas Gerais**. 245p., UFV, Viçosa, 1993.
- [14] 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.
- [15] 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.