



VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DO BIOGÁS PROVENIENTE DA SUINOCULTURA, EM SUBSTITUIÇÃO A FONTES EXTERNAS DE ENERGIA

Maria Isabel Alencar Dias¹, Fernando Colen², Luiz Arnaldo Fernandes³, Rogério Marcos de Souza⁴ & Osmar de Carvalho Bueno⁵

RESUMO: A suinocultura é uma atividade potencialmente geradora de dejetos, com elevada carga orgânica, altamente poluente, sendo responsável pela disseminação de patógenos, pela contaminação de rios, de lençóis subterrâneos e de solos, além de produzir odores desagradáveis e emitir gases de efeito estufa. No entanto, o elevado valor de matéria orgânica, que expressa a carga poluidora, reflete o potencial energético desses dejetos utilizados como matéria-prima na geração de biogás, por meio da tecnologia dos biodigestores, que, quando bem empregada, proporciona a produção de energia limpa e promove a conservação do meio ambiente. Por meio do valor dos investimentos iniciais de implantação de um biodigestor, dos custos de manutenção, da depreciação, dos juros e receitas oriundas do sistema, e, conhecendo a quantidade de biogás produzida diariamente e o consumo médio de biogás pelos aparelhos mais comumente utilizados, como geladeira, fogão, aquecedor de água e grupo gerador de energia elétrica, verificou-se a viabilidade econômica da implantação de um biodigestor modelo indiano em uma granja de suínos de pequeno porte. Para um cenário de 10 anos, os resultados dos indicadores econômicos VPL R\$ 57.598,95, TIR 48,38%, Payback Simples 2,06 anos e Payback Descontado 2,3 anos evidenciaram um panorama favorável à utilização dessa tecnologia, com possibilidades de gerar benefícios econômicos, sociais e ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: biodigestor, sustentabilidade, energia alternativa.

ECONOMIC FEASIBILITY OF THE USE OF BIOGAS PRODUCED FROM SWINE CULTURE IN REPLACEMENT TO EXTERNAL SOURCES OF ENERGY

ABSTRACT: The swine culture potentially generates waste with high organic load and pollutants, being responsible for the spread of pathogens, contamination of rivers, groundwater and soils, besides it produces foul odors and emit greenhouse gases. However, the high amount of organic matter, which expresses the amount of pollutant load, reflects the energetic potential of these wastes used as raw material in biogas generation through technology of digesters. The properly use of these digesters provides the production of clean energy and promotes the conservation of the environment. The economic viability of the implantation of an Indian model digester on a small swine farm was verified based on the value from initial investments of deployment, maintenance costs, depreciation, and on the interest and revenues arising from the system. Besides, the amount of biogas produced daily and the average consumption of biogas by the most common used devices such as refrigerator, stove, water heater, and generator of electricity was calculated. For a backdrop of 10 years, the results of economic indicators NPV of BRL 57,598.95, IRR of 48.38%, Simple Payback of 2.06 years, and Discounted Payback of 2.3 years, demonstrated a favorable outlook for the use of this technology, with the possibility to generate economic, social and environmental benefits.

KEYWORDS: biodigester, sustainability, alternative energy.

¹ Mestre em Ciências Agrárias pela Universidade Federal de Minas Gerais. Atua na área de extensão universitária em Energias Alternativas, mais notadamente em viabilidade da biodigestão anaeróbia para pequenos produtores rurais. E-mail: isa-ufmg@hotmail.com

² Tem experiência na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em Biodigestão Anaeróbia, atuando principalmente nos seguintes temas: sustentabilidade, biogás, biodigestor, agricultura familiar e assentamento rural. E-mail: fernandocolen1@yahoo.com.br

³ Coordenador do Programa Interlaboratorial de Controle de Qualidade de Análise de Solo de Minas Gerais (PROFERT-MG) - biênio 2011 a 2012. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Fertilidade do Solo, Adubação e Nutrição de Plantas. E-mail: larnaldo@ufmg.br

⁴ Tecnologia de Carnes e Pescado, Tecnologia de Produtos Agropecuários e Inspeção de Produtos de Origem Animal, com ênfase em: higiene e controle sanitário de alimentos, controle físico-químico de alimentos, análise sensorial e microbiologia de alimentos, tecnologia de alimentos, processos de conservação e processamento dos alimentos, inspeção de animais de abate e pescado e controle dos procedimentos higiênicos-sanitários em Matadouros e Frigoríficos. E-mail: rogeriosouza@ufmg.br

⁵ Professor Adjunto da UNESP, atuando principalmente nas seguintes temáticas: extensão rural, agricultura familiar, energia na agricultura e planejamento da paisagem (arborização urbana). E-mail: osmar@fca.unesp.br

1 INTRODUÇÃO

O homem, por meio do uso excessivo do petróleo nos últimos 150 anos, transformou, de forma radical, o seu estilo de vida e de consumo, dando origem a um enorme desperdício de energia e consideráveis alterações climáticas e ambientais (SACHS, 2007).

Nesse cenário, a demanda global de energia cresce rapidamente, em detrimento do crescimento populacional, somado ao desenvolvimento e à modernização das atividades agrícolas e industriais (SEIXAS et al., 2002).

A tendência de aumento da demanda de energia é de duas ou três vezes durante esse século, situação preocupante, posto que os combustíveis fósseis representam em torno de 88% dessa demanda e que as mais relevantes fontes de petróleo e gás estão concentradas em regiões politicamente instáveis (WEILAND, 2006).

A suinocultura se destaca por seu significativo potencial poluidor, onde a geração de dejetos corresponde a quatro vezes o equivalente populacional humano. Os dejetos suínos possuem altas concentrações de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, além de substâncias patogênicas, cor e odor, que, se não forem corretamente manipulados, podem causar desequilíbrios ambientais, proliferação de vetores e, conseqüentemente, aumento de doenças vinculadas à água e ao solo (SCHULTZ, 2007).

Como alternativa para abrandar tais problemas, o uso de biodigestores na suinocultura tem sido considerado como solução eficiente do ponto de vista econômico, social e ambiental (ESPERANCINI et al., 2007; KUNZ et al., 2004).

Os biodigestores agregam valor aos resíduos da atividade, com a geração de biogás, além de atenderem a uma das estratégias sugeridas pelo Protocolo de Kyoto, quando, por meio da queima do mesmo, libera dióxido de carbono (CRUZ et al., 2007), que apresenta potencial de elevar as temperaturas globais 23 vezes inferior ao gás metano (LAZARUS; RUDSTROM, 2007).

Segundo Cortez et al. (2008), a Agência Internacional de Energia (AIE) avalia que, dentro de aproximadamente 20 anos, em torno de 30% da energia total utilizada pela humanidade será originada de fontes renováveis. Nesse cenário, o biogás terá papel vital no futuro, pois é considerado uma versátil fonte de energia renovável.

O biogás é constituído por metano, dióxido de carbono, hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico e outros (COLDEBELLA et al., 2008), produzido por meio da biodigestão anaeróbia, considerada uma das mais eficientes técnicas de aproveitamento de resíduos na área da biotecnologia (CERVI et al., 2010).

O biogás pode ser utilizado para produção de energia elétrica, térmica ou mecânica em propriedades rurais; gerar receitas e reduzir os custos de produção, ao substituir o gás liquefeito de petróleo (GLP) e energia elétrica, além da possibilidade de comercialização dos créditos de carbono (SOUZA et al., 2004).

Devido ao elevado custo dos processos de tratamento de dejetos potencialmente poluidores do ambiente, faz-se premente buscar alternativas que viabilizem a implantação de projetos dessa natureza (GASPAR; ÓSES, 2007).

Essa técnica propicia uma nova fase da agricultura brasileira, onde os recursos humanos e naturais possam ser trabalhados de forma eficiente, com menor dependência de insumos e combustíveis não renováveis, como fertilizantes químicos, gás natural, carvão e diesel (BERGIER; ALMEIDA, 2010).

Assim, objetivou-se, com esta pesquisa, verificar a viabilidade econômica da construção de biodigestores, para fins de produção de biogás, a partir de dejetos suínos, em granjas de pequeno porte.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Produção do biogás

A presente pesquisa foi realizada na Fazenda Experimental Professor Hamilton de Abreu Navarro (FEHAN), do Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da Universidade Federal de Minas Gerais, Campus Regional de Montes Claros/MG.

A FEHAN está localizada no município de Montes Claros, ao norte do estado de Minas Gerais, situada a uma latitude Sul de 16° 43' 41'' e longitude Oeste de 43° 52' 54''. Apresenta altitude média de 646 metros e o clima, segundo classificação de Koppen, é do tipo Aw – tropical de savana, com inverno seco e verão chuvoso e precipitação anual média de 1.049,81 milímetros.

Optou-se pela granja de suíno para a realização da pesquisa em virtude da grande quantidade de dejetos disposto a céu aberto, causando contaminação do solo e danos ao meio ambiente. Com o intuito de mitigar o problema, foi instalado o biodigestor modelo indiano destinado ao tratamento desses dejetos, por meio do processo da biodigestão anaeróbia.

O setor de suinocultura do ICA/UFMG conta com um plantel entre 80 e 100 animais. Classificada como granja de pequeno porte, opera com o sistema de produção de ciclo completo, ou seja, realiza todas as etapas de produção, que são: produção de leitões, cria, recria ou crescimento e terminação desses animais. A massa corporal inicial dos leitões na fase creche era de, aproximadamente, 6 kg e a dos animais em fase de crescimento e abate compreendida entre 25 e 100 kg, respectivamente, podendo atingir até 120 kg.

Os animais permanecem alojados em baias, de acordo com a categoria: os reprodutores, em baias individuais e as fêmeas em lactação, instaladas em gaiolas. Conta-se, ainda, com uma estrutura de creche, para receber os leitões após o desmame. As baias possuem piso de concreto compacto, bebedouros tipo chupeta e comedouros de abastecimento manual.

O biodigestor anaeróbico, objeto deste estudo, é do modelo indiano, de fluxo contínuo, construído em alvenaria, com um gasômetro em chapa de aço, cujas principais características estão apresentadas na Tabela 1 e esquematizadas na Figura 1:

Tabela 1: Características do biodigestor modelo indiano, construído na FEHAN / UFMG.

Características	Medidas
Biodigestor	
Volume útil	17,43 m ³
Diâmetro superior (ϕ_S)	2,90 m
Diâmetro inferior (ϕ_I)	2,70 m
Altura superior (H_S)	1,32 m
Altura da parede diisória (H_I)	1,68 m
Gasômetro	
Volume do gasômetro (V_G)	8,42 m ³
Diâmetro do gasômetro (ϕ_G)	2,85 m
Altura do gasômetro (H_G)	1,32 m

Fonte: Dados da pesquisa.

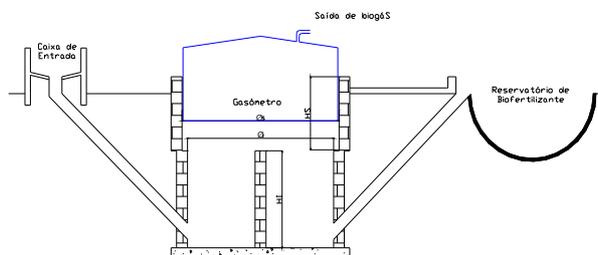


Figura 1: Corte longitudinal do biodigestor utilizado.

Fonte: Arquivo pessoal.

Na Tabela 2, são relacionados os materiais utilizados na construção do biodigestor, assim como os gastos com máquinas e mão de obra e seus respectivos custos.

Tabela 2: Custos do biodigestor modelo indiano - FEHAN / UFMG.

Material	Unidade	Quantidade	Preço (R\$)	Total (R\$)	%
TOTAL GERAL				11.834,20	100
Tijolo maciço	Milheiro	5,8	250,00	1450,00	12,25
Cimento	Saca	65	16,00	1.040,00	8,79
Areia média	m ³	5,00	45,00	225,00	1,90
Brita 1	m ³	2,50	40,00	100,00	0,85
Brita 2	m ³	1,00	40,00	40,00	0,34
Imperm. Vedacit (18L)	Lata	02	89,00	178,00	1,50
Tubo PVCE 150mm (6m)	Barra	06	95,00	570,00	4,82
Registros de PVC 50mm	Unidade	03	20,00	60,00	0,51
Gasômetro em chapa de aço	Peça	01	5.120,00	5.120,00	43,26
Mangueira cristal 3/4"	M	08	3,80	30,40	0,26
Aço p/ const. 3/8" (12m)	Barra	10	22,00	220,00	1,86
Tubo de PVC 50 mm (6 m)	Barra	12	35,00	420,00	3,55
Veda rosca (20m)	Unidade	3	5,00	15,00	0,13
Adesivo plástico (75g)	Unidade	2	5,30	10,60	0,09
Brocas (1mm)	Unidade	10	2,50	25,00	0,21
Adaptadores	Unidade	08	5,65	45,20	0,38
Curvas 90° de PVC 50mm	Unidade	06	7,50	45,00	0,38
Luvas de PVC 50mm	Unidade	05	3,00	15,00	0,13
TOTAL MA'				9.609,20	81,20
Escavação (máquina)	Hora	05	95	475,00	4,01
Mão de obra (pedreiro)	Diária	20	50	1.000,00	8,45
Mão de obra (servente)	Diária	25	30	750,00	6,34
TOTAL MÃO DE OBRA / SERVIÇOS				2.225,00	18,80

Fonte: Dados da pesquisa.

Os dejetos foram recolhidos diariamente, por meio de raspagem do piso das baias, pesados e realizadas as análises de sólidos totais, voláteis e fixos, as quais apresentaram os resultados médios de 24,00%, 79,53% e 20,47%, respectivamente. Esses dejetos eram, então, depositados em uma caixa para homogeneização e diluídos em água, numa proporção de 2:1, água: dejetos, até atingir uma mistura de, aproximadamente, 8% de sólidos totais, que era encaminhada diretamente à caixa de entrada e, daí, ao biodigestor. O tempo de detenção hidráulica (TDH) aplicado ao processo foi de 40 dias.

A capacidade de carga do biodigestor equivale a 145,28 kg de esterco suíno, diluídos em 290,4 L de água, com

produção média de 38,33 m³dia⁻¹ de biogás. Além da produção de biogás, conta-se com a produção de, aproximadamente, 435,6 L dia⁻¹ de biofertilizante.

O biogás produzido foi canalizado diretamente para o Laboratório de Biodigestão Anaeróbia e utilizado nos seguintes equipamentos: geladeira a gás, fogão, aquecedor de água a gás e um grupo gerador portátil Toyama Ciclo Otto, adaptado para o uso do biogás.

Na Tabela. 3, são relacionados os equipamentos utilizados e seus respectivos custos.

Tabela 3: Valor de aquisição dos equipamentos para uso do biogás.

Equipamento	Quantidade	Valor (R\$)
TOTAL		4.019,79
Geladeira a gás Consul	01	1.999,00
Grupo Gerador a gasolina Toyama Power – TG2800MX	01	1.275,25
Aquecedor de água a gás – Lorenzetti LZ-900	01	480,00
Fogão a gás de 4 bocas – Esmaltec	01	259,00
Ducha Tigre branca – Ø 4”	01	6,54

Fonte: Dados da pesquisa (outubro 2011).

O biofertilizante, após passar pela caixa de saída, ficou armazenado em reservatório próprio, de onde foi utilizado em culturas e experimentos no Instituto de Ciências Agrárias da UFMG.

2.2 Análise dos dados

Para determinar o valor do investimento inicial, foram levantados os custos de implantação do biodigestor, tais como despesas com materiais de construção, horas de escavação e mão de obra. O capital utilizado para a aquisição dos equipamentos destinados ao uso do biogás também foi considerado no cálculo do valor do investimento inicial.

Conhecendo os valores acima citados, foi possível calcular o investimento inicial, dado pela Equação 01 (CERVI, 2009):

$$II = CM + MO$$

Onde:

II – Investimento inicial (R\$);

CM – Custos com materiais e equipamentos (R\$);

MO – Custos com mão de obra/serviços (R\$).

A fim de se conhecer o tempo de retorno do capital investido na implantação do biodigestor e na aquisição dos equipamentos para a utilização do biogás, foram calculados os custos anuais com depreciação, juros sobre o capital fixo e custos de manutenção e operação.

A depreciação foi calculada, utilizando-se o método linear, conforme Equação 02, que considera a depreciação como uma função linear do bem, variando uniformemente ao longo da vida útil (BRASIL, 2010):

$$D = \frac{Ci - Cf}{Vu}$$

Onde:

D – Depreciação anual (R\$ano⁻¹);

Ci – Custos de materiais depreciáveis (R\$);

Cf – Valor final do ativo (R\$);

Vu – Vida útil (anos).

De acordo com a Instrução Normativa SRF nº 162, de 31 de dezembro de 1998, o prazo de vida útil para motores e utensílios domésticos é de 10 anos; edificações, 25 anos e recipiente de aço para gases, 5 anos, com taxa anual de depreciação igual a 10, 4 e 20%, respectivamente (BRASIL, 1999).

A remuneração do capital investido, como componente dos custos anuais do conjunto, é calculada em relação ao capital médio, durante a vida útil dos bens a uma taxa de juros de 6,8% ao ano, correspondente à taxa real de juros da economia brasileira, em setembro de 2011. A equação descrita por Esperancini et al. (2007), para cálculo dos juros, é a seguinte:

$$Vk = \frac{Vi + Vf}{2} r$$

Onde:

Vk – Custo de oportunidade do capital (R\$ ano⁻¹);

Vi – Valor total do investimento (R\$);

Vf – Valor final do ativo (R\$);

r – Taxa de juro anuais (%ano⁻¹).

Consideram-se os custos anuais com manutenção a mão de obra necessária à permanência do biodigestor em funcionamento, tais como, limpeza e manejo dos dejetos. Esse cálculo baseou-se no tempo diário de operação e no salário praticado pelas agroindústrias da região, conforme a Equação 04 (CERVI, 2009). (01)

$$GMO = TOXGS$$

Onde:

GMO – Gasto com mão de obra (R\$);

TO – Tempo de operação exigido (horas ano⁻¹);

GS – Gastos com salário (R\$ hora⁻¹).

A primeira etapa consistiu em acompanhar a coleta, a pesagem dos dejetos e o abastecimento do biodigestor. Foi utilizada uma planilha, para melhor visualizar a

produção de biogás, em função da quantidade de dejetos produzidos diariamente e do número de animais em suas respectivas categorias.

A produção do biogás foi avaliada no mês de maio de 2011. Nesse processo, inicialmente, foi quantificada a relação entre produção de dejetos e a geração de biogás. A quantidade máxima de dejetos produzidos no período foi de 145,28 kg dia⁻¹, para uma produção média de biogás de 38,33 m³ dia⁻¹, corrigidos para uma temperatura de 293,15 K (20°C) e pressão de 760 mmHg (1 atm), conforme Caetano (1991), Colen (2003) e Queiroz (2003).

O volume de biogás produzido diariamente foi calculado, multiplicando-se o valor, previamente conhecido, da área do gasômetro pelo seu deslocamento vertical, que foi determinado utilizando-se régua graduada em cm e nível, com a finalidade de atingir o equilíbrio necessário à realização das medidas. A temperatura do biogás foi medida com uso de um termômetro digital, em °C, com precisão de uma casa decimal. A pressão foi calculada, mediante o uso de um manômetro em "U" (AIRES, 2009; COLEN, 2003).

Em seguida, procedeu-se ao esvaziamento do gasômetro, por meio da queima total do biogás armazenado. Repetiu-se o processo, de acordo com a produção de biogás, com a finalidade de se determinar a produção total diária.

A segunda etapa desse processo consistiu em medir a quantidade de biogás consumido para cada aparelho, em um determinado tempo. A metodologia utilizada baseou-se nos mesmos recursos empregados para calcular a produção diária de biogás, ou seja, tomavam-se as medidas da altura, pressão e temperatura do gasômetro, antes e logo após colocar os aparelhos para funcionar.

O consumo médio de biogás pela geladeira, fogão, aquecedor de água e conjunto motor gerador de eletricidade foi determinado, cronometrando-se o tempo de funcionamento de cada aparelho, em função da quantidade de biogás consumido. Foram realizadas nove repetições entre os dias 05 e 27 de maio de 2011, observando-se as mesmas condições de tempo e horário. Dessas, três foram consideradas para o cálculo da média e desvio padrão, conforme Tabela 4 a seguir.

Tabela 4: Consumo de biogás por equipamento.

Equipamento	Média (m ³ h ⁻¹)	Desvio Padrão	CV (%)
Queimador fogão 2,5"	0,10	0,006	6,45
Aquecedor de água	0,88	0,049	5,59
Geladeira	0,127	0,004	3,15
Conjunto moto gerador	2,60	0,15	5,77

Fonte: Dados da Pesquisa.

De posse dos valores de produção diária de biogás e do consumo para cada aparelho, mensurou-se a produção e o volume anual de biogás necessário para suprir a demanda de energia elétrica e GLP para os equipamentos utilizados, por meio dos dispêndios com iluminação, cocção, aquecimento de água para banho e refrigeração por adsorção.

O benefício gerado com a produção de biogás foi calculado, por meio do valor monetário que deixou de ser transferido para a concessionária de energia elétrica e/ou para as vendas de GLP.

De posse dos dados referentes aos custos e aos benefícios originados com a implantação do biodigestor, procedeu-se à análise da viabilidade econômica do sistema, por meio de indicadores de análise de investimentos, que, segundo Nogueira (2009) são: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Período de Recuperação do Capital (*Payback*).

De acordo com Assaf Neto (2003), o Valor Presente Líquido expressa o resultado econômico atualizado do investimento e pode ser calculado, usando-se a seguinte expressão:

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

Onde:

B_t = Benefício do projeto (R\$ ano⁻¹);

C_t = Custo do projeto (R\$ ano⁻¹);

r = Taxa de desconto (%);

t = Contador de tempo (ano⁻¹);

n = Período de vida útil do investimento (ano⁻¹).

O VPL significa, em valores monetários atuais, a diferença entre os recebimentos e os pagamentos de todo o projeto. De acordo com Nogueira (2009), a aceitação do investimento está condicionada ao valor do VPL, ou seja, se o VPL for maior que zero, sinaliza que o investimento deve ser aceito.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é definida como a taxa de juros que torna recebimentos e desembolsos equivalentes na data presente. Em termos matemáticos, a TIR é a taxa que iguala o Valor Presente Líquido a zero,

podendo ser determinada pela Equação (06) (ASSAF NETO, 2003):

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = 0$$

Onde:

B_t = Benefício do projeto (R\$ ano⁻¹);

C_t = Custo do projeto (R\$ ano⁻¹);

r = Taxa de desconto (%);

t = Contador de tempo (ano⁻¹);

n = Período de vida útil do investimento (ano⁻¹).

O *Payback* ou período de retorno do investimento pode ser calculado de duas formas: *Payback* simples, onde se calcula o número de períodos necessários para se recuperar o investimento inicial, sem levar em conta o fluxo de caixa e o valor do dinheiro no tempo, e o *Payback* descontado, que calcula o número de períodos necessários para recuperar o investimento, considerando-se o valor do dinheiro no tempo e ajustando-se os fluxos de caixa a uma taxa de desconto (CASAROTTO FILHO; KOPITTKE, 2007).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O investimento para a construção do biodigestor, a aquisição e a instalação de equipamentos para aproveitamento do biogás foi de R\$ 15.853,99 (Tabelas 2 e 3). Já o investimento somente no biodigestor e nos equipamentos foi de R\$ 13.628,99 (Tabela 4). A partir desse valor foram calculados os custos de depreciação (Tabela 5) e os juros sobre o capital inicial investido (Tabela 6).

Tabela 5: Custos de depreciação do biodigestor / equipamentos.

Bens	Valor inicial (R\$)	%	Vida útil (anos)	Taxa de depreciação (% ano ⁻¹)	Depreciação (R\$ ano ⁻¹)
TOTAL 1 **					1.605,54
TOTAL 2 ***					581,54
Biodigestor (Alvenaria)	4.489,20	32,94	25	04	179,57
Biodigestor (Gasômetro)	5.120,00	37,57	05	20	1.024,00
Grupo Gerador	1.275,25	9,36	10	10	127,52
Geladeira a gás	1.999,00	14,67	10	10	199,90
Fogão a gás	259,00	1,90	10	10	25,90
Aquecedor de água a gás	480,00	3,52	10	10	48,00
Ducha	6,54	0,04	10	10	0,65

Fonte: Dados da pesquisa.

Notas: * Valor final dos materiais e equipamentos foi considerado nulo.

** Valor da depreciação do 1º ao 5º ano.

*** Valor da depreciação do 6º ao 10º ano - Gasômetro totalmente depreciado.

Tabela 6: Juros sobre o capital inicial investido. (06)

Bens	Valor inicial (R\$)	Valor final* (R\$)	Taxa de juros (% ano ⁻¹)	Juros (R\$ ano ⁻¹)
TOTAL				539,03
Biodigestor (Alvenaria)	4.489,20	-	6,8	152,63
Biodigestor (Gasômetro)	5.120,00	-	6,8	174,08
Biodigestor (Mão de obra/Serviços)	2.225,00	-	6,8	75,65
Equipamentos	4.019,79	-	6,8	136,67

Fonte: Dados da pesquisa.

Nota: * Valor final dos materiais e equipamentos foi considerado nulo.

Os custos referentes à mão de obra responsável pela coleta, transporte, abastecimento, retirada do biofertilizante e limpeza do biodigestor, além do uso do biogás, foram de R\$ 693,64 correspondendo a 280 h ano⁻¹.

Esse valor é inferior ao encontrado por Esperancini et al. (2007), que observaram a necessidade de 365 h ano⁻¹, para um sistema semelhante, enquanto Cervi et al. (2010), em estudo sobre a viabilidade econômica de biodigestores modelo tubular, estimaram um total de 200 h ano⁻¹ para a operação e a manutenção do biodigestor e do grupo gerador.

As despesas anuais com depreciação, juros sobre capital inicial investido, manutenção e operação do biodigestor e equipamentos compõem os custos totais de implantação e estão ilustradas na Tabela 7.

Tabela 7: Custos totais para a implantação e a operação do sistema.

Itens	R\$ ano ⁻¹
TOTAL 1 *	2.838,21
TOTAL 2**	1.814,21
Depreciação (1º ao 5º ano)	1.605,54
Depreciação (6º ao 10º ano)	581,54
Juros	539,03
Mão de obra para a operação e a manutenção do sistema	693,64

Fonte: Dados da pesquisa.

Notas: * Custo total do 1º ao 5º ano.

** Custo total do 6º ao 10º ano - Gasômetro totalmente depreciado.

O biodigestor em estudo, ao operar com sua capacidade máxima de receber 145,2 kg de dejetos por dia, diluídos para um percentual de 8% de sólidos totais, produziu, em média, 38,33 m³dia⁻¹ de biogás.

Em condições ideais de operação e manutenção, o biodigestor tem capacidade para funcionar os 365 dias do ano. Nesse caso, a produção anual de biogás será de 13.990,45 m³ano⁻¹, que servirá como alternativa para obtenção de renda e economia, por meio da cogeração de energia e da substituição do GLP.

O conjunto moto gerador existente na propriedade, com 6,5 HP de potência, apresenta capacidade para gerar 2,5 kWh (220V), consumindo 2,6 m³ h⁻¹ de biogás. Visto que é necessário descontar o tempo de geração e armazenamento de biogás no gasômetro, optou-se por um tempo de funcionamento do conjunto moto gerador igual a 10 h dia⁻¹. Para o intervalo de 10 horas, o conjunto moto gerador produz 25kW, consumindo 26 do 38,33 m³ de biogás produzidos diariamente.

Nesse contexto, o potencial energético de 1 m³ de biogás equivale a 0,96 kWh, valor inferior ao encontrado por Sganzerla (1983) e Nogueira (1986), em que o potencial energético de 1 m³ de biogás equivale a 1,43 kWh, ao que seria possível obter 37,18 kWh dia⁻¹, consumindo os mesmos 26 m³ de biogás.

O valor da tarifa de energia elétrica praticada pelas Centrais Elétricas de Minas Gerais (CEMIG), responsável pelo fornecimento de eletricidade na região, no mês 08/2011, foi de R\$0,4149 o kWh, em consonância com a Resolução nº 1127, de 05/04/11 da Aneel.

Ao usar os 25 kW de energia elétrica produzidos diariamente pelo conjunto moto gerador nas dependências da granja, em substituição parcial à energia elétrica fornecida pela concessionária, obteve-se, em um ano, a receita de R\$ 3.785,96 referente, aos valores que deixaram de ser repassados à CEMIG.

Dos 38,33 m³ de biogás produzidos diariamente, 12,33 m³ substituíram o GLP utilizado para cocção, aquecimento de água para banho e refrigeração por absorção. O benefício com a substituição do GLP foi calculado tomando como base Sganzerla (1983), para o qual 1m³ de biogás equivale a 0,45 kg de GLP. Assim, 12,33 m³ de biogás equivalem a 5,55 kg de GLP.

O botijão usualmente comercializado contém 13 kg de GLP, vendido a R\$ 43,00, valor vigente em agosto de 2011. Nesse caso, o valor que deixou de ser repassado para as revendas locais foi igual a R\$ 6.748,85 ano⁻¹ referente a 0,43 botijão dia⁻¹ com valor igual a R\$ 18,49.

Caso fosse utilizado como base Nogueira (1986), para o qual 1 m³ de biogás equivale a 1,43 kg de GLP, R\$ 21.345,20 ano⁻¹ seria o benefício monetário, 3,16 vezes superior ao valor praticado nesta pesquisa, o que comprova, ainda mais, a viabilidade da biodigestão anaeróbia.

Esperancini *et al.* (2007), em trabalho semelhante, avaliaram o uso do biogás proveniente da suinocultura, em substituição ao GLP e à energia elétrica, considerados fontes externas de energia, em assentamento rural no interior do estado de São Paulo. O referido estudo evidenciou resultados amplamente favoráveis à implantação de biodigestores na suinocultura, demonstrados nos benefícios financeiros e no tempo de recuperação do investimento, resultados semelhantes aos encontrados na presente pesquisa.

Os benefícios da utilização do biogás, por meio da cogeração de energia elétrica e da substituição do GLP, somam R\$ 10.534,81 por ano nas condições supracitadas, conforme Tabela 8.

Tabela 8: Receita decorrente da utilização do biogás.

Cenário	Receita	Quantidade (dia ⁻¹)	Valor unitário (R\$)	Valor anual (R\$)
TOTAL				10.534,81
Cogeração	Energia elétrica (kWh)	25	0,4149	3.785,96
GLP	GLP (botijão)	0,43	43,00	6.748,85

Fonte: Dados da Pesquisa.

Nota: Valores referentes a 09/2011.

Para o cálculo da viabilidade econômica, por meio do VPL, TIR e *Payback*, foi considerado um cenário de 10 anos, tempo médio de duração de um projeto dessa natureza, baseado na vida útil das instalações e dos equipamentos.

Para um investimento inicial de R\$ 15.853,99, foram calculados custos anuais de manutenção e fluxo de caixa do 1º ao 5º ano e depois do 6º ao 10º ano, em função do tempo de vida útil do gasômetro, 05 anos, e da alvenaria, 25 anos, que são responsáveis por 43,26% e 56,74%, respectivamente, do valor total do biodigestor.

Dessa forma, para efeito de cálculo de viabilidade econômica, nos últimos cinco anos do projeto, considerou-se o gasômetro totalmente depreciado. Esses valores estão relacionados na Tabela 9, juntamente com os indicadores econômicos.

Tabela 9: Valores monetários dos benefícios, custos e indicadores econômicos resultantes da implantação do biodigestor modelo indiano.

Itens	Valores
Benefício (R\$ ano ⁻¹)	10.534,81
Custo 1 – 1º ao 5º ano (R\$ ano ⁻¹)	2.838,21
Custo 2 – 6º ao 10º ano (R\$ ano ⁻¹)	1.814,21
Fluxo de caixa 1 – 1º ao 5º ano (R\$)	7.696,60
Fluxo de caixa 2 – 6º ao 10º ano (R\$)	8.720,60
VLP (R\$)	57.598,95
TIR (%)	48,38
Payback simples (ano)	2,06
Payback descontado (ano)	2,30

Fonte: Dados da pesquisa.

Cervi et al. (2010), em estudo sobre viabilidade econômica de um biodigestor modelo tubular contínuo em uma granja de suínos de grande porte, com investimento inicial para implantação de R\$ 51.537,17, concluíram que, para um sistema de produção de biogás ser considerado viável do ponto de vista econômico, é necessário que se tenha um consumo de energia elétrica em torno de 35 kWh dia⁻¹, apresentando, nessas condições, um VPL igual a R\$ 9.494,90 e uma TIR de 9,34% ao ano.

Brown et al. (2007), trabalhando com diversos cenários de produção, demonstraram, por meio de análises econômicas, que a energia elétrica gerada a base do biogás não é economicamente viável para todos os tamanhos de propriedades agrícolas estudadas, enfatizando que, em propriedades de médio e grande porte, o benefício gerado é maior. No entanto, os resultados apresentados pelos indicadores econômicos nesta pesquisa, contradizem os achados de Brown et al., ao constatar que a implantação de biodigestores em propriedades de pequeno porte é perfeitamente viável.

Com relação à produção de energia e à capacidade de funcionamento de um conjunto moto gerador, Coldebella et al. (2006), em estudo sobre a viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás proveniente da bovinocultura de leite, afirmaram que os custos da energia elétrica, gerada via biogás, estavam relacionados aos tempos de recuperação do investimento e de operação do sistema, traduzidos em quantidade de energia produzida e valor da tarifa praticada pela concessionária local.

Outro aspecto importante, porém não contemplado nesta pesquisa, refere-se aos benefícios ambientais da utilização do biogás como fonte geradora de energia elétrica. Metha (2002) classificou os benefícios da produção de biogás, por meio da biodigestão anaeróbia, em benefícios monetários e ambientais.

Goodrich et al. (2005) também admitiram que, para uma completa avaliação da viabilidade econômica do biogás,

é importante relacionar não só os benefícios financeiros, mas também os ambientais, além de alguns custos operacionais que podem ser evitados com a produção e a utilização do biogás.

Ao estudar a viabilidade econômica da geração de energia elétrica, por meio de biodigestores, utilizando-se dejetos bovinos em pequenas explorações leiteiras nos EUA, Metha (2002) afirmou que a tecnologia da biodigestão ainda está em fase inicial e que são muitos os modelos existentes em virtude da diversidade de tamanho das propriedades, localização, gestão, necessidade de energia, clima, bem como os demais ganhos potenciais oriundos dessa tecnologia.

4 CONCLUSÃO

Os valores resultantes da análise da viabilidade econômica são favoráveis à construção de biodigestores anaeróbios modelo indiano em granjas de pequeno porte, com a finalidade de produzir biogás via dejetos suínos. Nesse cenário, é possível avançar a pesquisa quanto à metodologia utilizada para verificar a produção e consumo do biogás mediante a aquisição de equipamentos, e, ainda, investir em técnicas de envase e armazenamento do biogás, possibilitando dessa forma, aperfeiçoar o uso dessa importante fonte de energia renovável, constituindo assim, foco de novos estudos.

5 REFERÊNCIAS

- AIRES, A. M. **Biodigestão anaeróbia da cama de frangos de corte com ou sem separação das frações sólida e líquida**. 2009. 134 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.
- ASSAF NETO, A. **Finanças corporativas e valor**. São Paulo: Atlas, 2003. 609 p.
- BERGIER, I.; ALMEIDA, J. A. R. Agrosuínocultura: solução sustentável brasileira. **Revista CFMV**, Brasília, DF, v. 16, n. 50, p. 19-22, 2010.
- BRASIL. Secretaria da Receita Federal. Instrução Normativa SRF nº 162 de 31 de dezembro de 1998. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 7 jan. 1999. Seção 1, p. 5.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Custos de produção agrícola: a metodologia da Conab**. Brasília, DF, 2010. 60 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Homologatória nº 1.127 de 5 de abril de 2011. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 8 abr. 2011. Seção 1, p. 62.

BROWN, B. B.; YRIDOE, E. K.; GORDON, R. Impact of single versus multiple policy options on the economic feasibility of biogas energy production: Swine and dairy operations in Nova Scotia. **Energy Policy**, Nova Scotia, v. 35, p. 4597-4610, 2007.

CAETANO, L. **Metodologia para estimativa da produção contínua de biogás em biodigestores modelo indiano**. 1991. 112 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1991.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKKE, B. H. **Análise de investimentos**: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 468 p.

CERVI, R. G. **Avaliação econômica do aproveitamento do biogás e biofertilizante produzido por biodigestão anaeróbia**: estudo de caso em unidade biointegrada. 2009. 67 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

CERVI, R. G.; ESPERANCINI, M. S. T.; BUENO, O. C. Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suinícola para geração de energia elétrica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 831-844, 2010.

COLDEBELLA, A. et al. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bovinocultura de leite. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUIÇÃO E ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2006. p. 9.

COLDEBELLA, A. et al. Viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Informe Gepec**, Toledo, v. 12, n. 2, p. 44-55, 2008.

COLEN, F. **Potencial energético do caldo de cana-de-açúcar como substrato em reator UASB**. 2003. 90 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

COLEN, F.; PASQUAL, A. Potencial energético do caldo de cana de açúcar (*Saccharum sp*) como substrato em reator UASB. **Energia na Agricultura**, Jaboticabal, v. 18, n. 4, p. , 2003. Não está citado no texto (RETIRAR DAS REFERÊNCIAS)

CORTEZ, L. A. B. et al. Biodigestão anaeróbia. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; OLIVARES, E. (Org.). **Biomassa para energia**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008. p. 493-530.

CRUZ, A. F.; WANDER, A.; SOUZA, A. G. Viabilidade econômica do uso do biodigestor na suinocultura. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 45., 2006, Londrina. **Anais...** Londrina: SOBER, 2007.

ESPERANCINI, M. S. T. et al. Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do Estado de São Paulo. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 110-118, 2007.

GASPAR, R. M. B. L.; OSÉS, J. E. R. Avaliação do perfil do pequeno e médio investidor adequado à modalidade de fundo de investimento financeiro, em longo prazo, com agregador de valor. **Ciências Sociais em Perspectiva**, Cascavel, v. 10, n. 6, p.149-162, 2007.

GOODRICH, P. R.; SCHMIDT, D.; HAUBENSCHILD, D. Anaerobic digestion for energy and pollution control. **Agricultural Engineering International: E. Journal**, St. Paul, USA, v. 7, pp. Manuscript EE 03 001, 2005.

KUNZ, A.; PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V. O. Biodigestores: avanços e retrocessos. **Suinocultura Industrial**, Porto Feliz, v. 4, n.178, p.14-16, 2004.

LAZARUS, W. F.; RUDSTROM, M. The economics of anaerobic digester operation on a Minnesota dairy farm. **Review of Agricultural Economics**, Minnesota, v. 29, n. 2, p. 349-364, 2007.

METHA, A. **The economics and feasibility of electricity generation using manure digesters on small and mid-size dairy farms**. Madison: University of Madison, 2002.

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

NOGUEIRA, E. Análise de Investimentos. In: BATALHA, M. O. (Coord.). **Gestão Agroindustrial: GEPAI**: grupo de estudos e pesquisas agroindustriais. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 419 p.

QUEIROZ, S. C. **Modelagem da produção acumulada de biogás em biodigestores tipo batelada segundo a porcentagem de inoculo adicionada utilizando os modelos de regressão não linear de Gompertz e exponencial**. 2003. 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

SACHS, I. A revolução energética do século XXI. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 21-38, 2007.

SCHULTZ, G. **Boas práticas ambientais na suinocultura**. Porto Alegre: SEBRAE, 2007. 44 p.

SEIXAS, F. J. M.; PASCHOARELI JUNIOR., D.; FARIA JUNIOR., M. J. A. Impacto da utilização de inversores em sistemas de geração distribuída sobre equipamentos rurais. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2002.

SGANZERLA, E. **Biodigestor: uma solução**. Porto Alegre: Agropecuária, 1983. 88 p.

SOUZA, S. N. M. et al. Custo da eletricidade gerada em conjunto motor-gerador utilizando biogás da suinocultura. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 127-133, 2004.

WEILAND, P. Biomass digestion in agriculture: a successful pathway for the energy production and waste treatment in Germany. **Engineering in life sciences**, Braunschweig, Germany, v. 6, n. , p. 302-309, 2006.