
**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE GERAÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA A PARTIR DE BIOGÁS PROVENIENTE DE DEJETOS DE SUÍNOS DE
UMA PROPRIEDADE RURAL EM FORQUILHINHA/SC**

Engenharias

Artigo Original

**Geovane Westrup¹; Glaucea Warmeling Duarte¹; Josué Alberton¹; Rosivete
Coan Niehues¹; Dimas Ailton Rocha¹; Solange Vandresen¹**

1. Centro Universitário Barriga Verde - Unibave

Resumo: A modernização na criação de suínos nos últimos anos permitiu um grande desenvolvimento desta cultura no país, objetivando a maximização da produção. A utilização de energia elétrica no setor agropecuário representa um dos processos mais importantes a serem incentivados no Brasil, pois é fato que a eletrificação rural é fundamental para levar adiante programas de desenvolvimento de uma região. Dessa forma, a energia deve ser vista não só como um fator capaz de aumentar a produtividade no campo, permitindo a melhoria das condições de trabalho, mas também elevando as condições de vida do homem no meio rural. Entretanto, atualmente os produtores de suinocultura demonstraram uma grande preocupação com a elevação do consumo energético, impactando diretamente na elevação dos custos de produção, principalmente nos setores rurais de baixa e média renda. Uma das alternativas para minimização dos custos com energia elétrica é a auto-sustentabilidade por meio de um sistema de aproveitamento dos dejetos de suínos para a geração de energia elétrica por biodigestores, que vem apresentando resultados favoráveis de acordo com a literatura. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica da implantação de um biodigestor em uma propriedade de suinocultura do município de Forquilha. Na análise de dois cenários diferentes, os cálculos da avaliação da viabilidade do projeto apresentam um VPL negativo e uma TIR inferior a TMA, mostrando que a implantação do sistema de geração de energia elétrica com o processo de biodigestão dos dejetos de suínos na propriedade, apesar de ambientalmente favorável é inviável financeiramente.

Palavras-chave: Biodigestão anaeróbia. Suinocultura. Geração de Energia Elétrica.

STUDY OF ECONOMIC VIABILITY OF ELECTRICITY GENERATION FROM BIOGAS ARISING FROM PIG WASTE OF A RURAL PROPERTY IN FORQUILHINHA/SC

Abstract: The modernization of pig farming in recent years led to a great development of this farming in the country that has gone through changes aimed at maximizing production. The use of electricity in agriculture is one of the most important processes to be encouraged in Brazil, it is a fact that rural electrification is essential to carry out programs of development of a region. Thus, it must be viewed not only as a factor capable of increasing productivity in the field, allowing the improvement of working conditions, but also raising the living conditions of the people in the rural. However, nowadays producers swine demonstrated a great concern with rising energy consumption, directly impacting the rise in production costs, which are felt most strongly in rural areas of low and middle income countries. An alternative to minimizing the electricity costs is self-sustainability through a system of utilization of pig manure to generate electricity for digesters and generators group, which has shown favorable results in accordance with literature. In this context, this study aimed to analyze the technical and economic feasibility of implementing a digester on a farm in the municipality of swine Forquilhinha. In the analysis of two different settings, the project viability shows a negative VPL and TMA lesser TIR, indicate that the implementation of the electricity generation system with the digestion process of pig manure on the property, although environmentally favorable is financially unfeasible.

Keywords: Anaerobic digestion. Swine. Electric power generation.

Introdução

As fontes energéticas, principalmente a energia elétrica, são recursos de extrema importância para a vida moderna, indispensáveis e estratégicos para o desenvolvimento socioeconômico da maioria dos países (WALKER, 2009).

A utilização de energia elétrica no setor agropecuário representa um importante processo a ser incentivado no Brasil, pois é fato que a eletrificação rural é fundamental para levar adiante programas de desenvolvimento. Dessa forma, ela deve ser vista não só como um fator capaz de aumentar a produtividade no campo, permitindo a melhoria das condições de trabalho, mas também como uma alternativa para elevar as condições de vida do homem no meio rural (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIAS, 2011).

Porém, a elevação do consumo energético impacta diretamente na elevação dos custos de produção, que se fazem sentir com maior intensidade nos setores rurais de baixa e média rendas. De fato, este problema tem estimulado o desenvolvimento

de novas técnicas de controle do balanço energético, em que os agricultores procuram maximizar o aproveitamento energético dentro do próprio sistema agrícola (ANGONESE et al. 2006).

De acordo com os dados da Empresa de Pesquisa Energética (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007), nota-se claramente o desenvolvimento voltado à diversificação da matriz energética nacional nas últimas décadas. Com relação à geração e consumo de energia elétrica no país, o uso da energia hidráulica deverá diminuir consideravelmente, abrindo mais espaço para a geração térmica convencional (nuclear, gás natural e carvão mineral) (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2007).

Uma das opções para a produção de energia a baixo custo que vem apresentando resultados favoráveis é o biogás, obtido por meio da biodigestão anaeróbia de resíduos de animais (NOGUEIRA, 1986).

O estado de Santa Catarina possui uma produção anual de cerca de 18 milhões m³ de dejetos de suínos, que na sua maioria, são lançados no meio ambiente, comprometendo a qualidade das águas, refletindo em poluição orgânica, proliferação de microrganismos entéricos; afetando a qualidade do solo, da água e do ar. O aproveitamento desses dejetos como fonte de energia, na forma de biogás, pode proporcionar tanto um destino mais adequado a esses resíduos, como ganhos energéticos e econômicos no que se diz respeito à produção de combustíveis (HONÓRIO, 2009).

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica da implantação de um biodigestor em uma propriedade de suinocultura do município de Forquilha. Mais especificamente, buscou-se coletar e analisar os dados do consumo energético, o que permitiu a escolha apropriada do modelo do biodigestor, uma análise de custo do investimento, além de avaliar a possibilidade de reaproveitamento do biofertilizante gerado no processo de biodigestão.

Panorama Brasileiro da Suinocultura

A suinocultura no Brasil é uma atividade predominante de pequenas propriedades rurais, em que cerca de 80% dos suínos são criados em unidades de até 100 hectares. Está presente em 46,5% das 5,8 milhões de propriedades rurais existentes no país, empregando mão de obra tipicamente familiar e constituindo

relevante fonte de renda e de estabilidade social, gerando um faturamento de R\$ 12 bilhões por ano (PERDOMO et al., 2004; SEBRAE, 2011).

A maior representação numérica, econômica e tecnológica do rebanho suíno no Brasil se concentra na região Sul, devido à influência europeia na criação dos mesmos (SEBRAE, 2011). O estado de Santa Catarina lidera a produção com aproximadamente 25,6% do total de carne produzida, seguido do Rio Grande do Sul com 16,3% e Paraná com 14,8%. Este expressivo crescimento é reflexo do aperfeiçoamento de toda a cadeia produtiva e da adequação da produção frente aos padrões exigidos pelos mercados consumidores (MACHADO, 2011)

Dejetos Suínos e Poluição Ambiental

Os dejetos suínos, até a década de 70, não constituíam fator ambiental preocupante, pois a concentração de animais era pequena e o solo das propriedades tinha capacidade para absorvê-los. Porém, o desenvolvimento da suinocultura trouxe a produção de grandes quantidades de dejetos que, pela falta de tratamento adequado, transformou-se na maior fonte poluidora dos mananciais de água (PERDOMO et al., 2004).

A suinocultura é considerada pelos órgãos ambientais uma "atividade potencialmente causadora de degradação ambiental", sendo enquadrada como fator de grande potencial poluidor. De acordo com a Legislação Ambiental (Lei 9.605/98 - Lei de Crimes Ambientais), o produtor pode ser responsabilizado criminalmente por eventuais danos causados ao meio ambiente e à saúde dos homens e animais.

Segundo Honório (2009), o estado de Santa Catarina é responsável por uma produção anual de cerca de 18 milhões m³ de dejetos suínos, que são lançados no meio ambiente, afetando a qualidade da água, dos solos e do ar.

A prática comumente adotada pela suinocultura brasileira para o tratamento tem sido a armazenagem desses resíduos em lagoas ou tanques e sua posterior aplicação como fertilizante vegetal e condicionador do solo. Em regiões em que a geração de efluentes supera a capacidade de suporte do solo, alternativas de tratamento ou exportação de nutrientes precisam ser adotadas (KUNZ et al., 2005).

Tratamento dos Efluentes por Processo de Biodigestão

Novos conceitos para tratamento de efluentes da suinocultura estão sendo desenvolvidos desde a última década, visando uma qualidade melhor do efluente final, integrando-se processos físicos, físico-químicos e biológicos.

Um dos melhores métodos para a redução dos impactos ambientais ocasionados pelos dejetos produzidos pelos suínos é a utilização dos biodigestores (MACHADO, 2011), nos quais ocorre a digestão anaeróbica (ausência de oxigênio) da biomassa por meio do processo fermentativo da matéria orgânica que tem como finalidade a formação de uma mistura de gases (biogás) e a produção de um efluente (biofertilizante) rico em nutrientes (PECORA, 2006).

Existem diferentes tipos de biodigestores, mas de um modo geral, são constituídos por uma câmara completamente fechada e vedada, com formato variado em que se coloca o material orgânico em solução aquosa para a fermentação e uma campânula de armazenamento ou gasômetro, onde é gerado e mantido o biogás para a posterior captação (GASPAR, 2003).

As características do biogás dependem da temperatura, da pressão e do teor de umidade (MAGALHÃES, 1986). O biogás é incolor e não apresenta cheiro, assumindo coloração azul-lilás e pequenas manchas vermelhas quando em combustão, além de não deixar fuligem. Segundo Magalhães (1986) a mistura gasosa do biogás se compõe de metano, gás carbônico, nitrogênio, hidrogênio, oxigênio e gás sulfídrico. O poder calorífico do biogás varia conforme a quantidade de metano e presença de substâncias não combustíveis, podendo variar de 5.000 a 12.000 kcal/m³ quando altamente purificado (BRONDANI, 2010).

O biofertilizante, por sua vez, é definido por Haack (2009) como um efluente derivado da biomassa fermentada dentro do biodigestor, rico em nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo, potássio e material orgânico (humos). Devido à sua composição, o biofertilizante apresenta grande poder de fertilização, melhorando as características físicas, químicas e biológicas do solo, podendo substituir parcialmente ou totalmente o adubo químico.

O biofertilizante além de recuperar solos cansados apresenta as seguintes vantagens (SOUZA, 2008): deixa o solo mais permeável e poroso, facilitando a ramificação das raízes; promove melhor absorção de umidade para as raízes; restabelece principalmente as características físicas e biológicas do solo, ao contrário

do adubo químico que recupera somente as características químicas; permite maior penetração do ar na área explorada pelas raízes das plantas, propiciando melhores condições para se desenvolverem; mantêm as bactérias naturais, que combatem os microrganismos que atacam as plantas ativas; não apresenta odor e, por isso, não atrai moscas, insetos e roedores, agentes proliferadores e causadores de doenças.

De acordo com Souza (2008) o biofertilizante também pode ser despejado em lagoas para o desenvolvimento de algas verde-azuis que servem de alimento para peixes e camarões.

Honório (2009) afirma que o processo da biodigestão anaeróbica é de grande importância para o meio ambiente, pois ajuda a eliminar os organismos patogênicos e parasitas presentes na matéria orgânica (dejetos suínos, por exemplo), confirmando que o tratamento dos dejetos por esse processo auxilia na transformação de gases prejudiciais ao meio ambiente em fontes alternativas com fins produtivos positivos. Além do aproveitamento do lodo como fonte de energia, pode proporcionar tanto um destino mais adequado a esses resíduos, como ganhos energéticos e econômicos no que se diz respeito à produção de combustíveis (VIRMOND, 2007).

Conversão Energética do Biogás

As tecnologias mais utilizadas para a conversão energética do biogás são as turbinas a gás, os motores de combustão interna de ciclo Otto e Diesel e as caldeiras. Dentre estes, os motores de combustão interna são os mais adotados atualmente nos sistemas de conversões energéticas do biogás em propriedades de pequeno e médio porte (SOUZA, 2008).

Outra forma de utilização do biogás é a conversão em energia térmica, devendo este ter com o ar uma relação que permita a combustão completa. Quando isso acontece, a chama é forte, de coloração azul claro, emitindo um assobio. Esse tipo de queima não produz gases tóxicos, a não ser o CO₂, que em quantidade desejável pode contribuir benéficamente na manutenção da temperatura global (LACERDA et al., 2005).

O potencial de geração de energia hoje é baseado na produção diária de biogás, em termos teóricos 1m³ biogás teria potencial para gerar 1,3 kWh. O que reforça a ideia de que há sim a possibilidade de produzir energia a partir de biodigestores, sendo este um dos fatores que viabiliza o investimento no sistema

(COLATTO; LANGER, 2011).

De acordo com Colatto e Langer (2011) a ANEEL que regulamenta a compra de energia produzida mediante biodigestores assegura que se houver excedente de produção energética, o produtor pode vender esse excedente para uma concessionária de energia.

Procedimentos Metodológicos

Com o propósito de obter as principais informações para a análise técnica da viabilidade da geração de energia a partir do biogás em biodigestores, considerando desde a produção de dejetos até a geração de energia elétrica, este estudo adotou uma metodologia descritiva e de finalidade básica na busca de propostas para a solução do problema levantado nesta pesquisa.

Para fundamentar este trabalho foi realizada uma pesquisa bibliográfica que de acordo com Gil (1999) é desenvolvida mediante material já elaborado, principalmente livros e artigos científicos. Além disso, a pesquisa possui uma abordagem quantitativa, conceituada por Richardson (1999) como um método de emprego de instrumentos estatísticos, tanto na coleta quanto no tratamento dos dados.

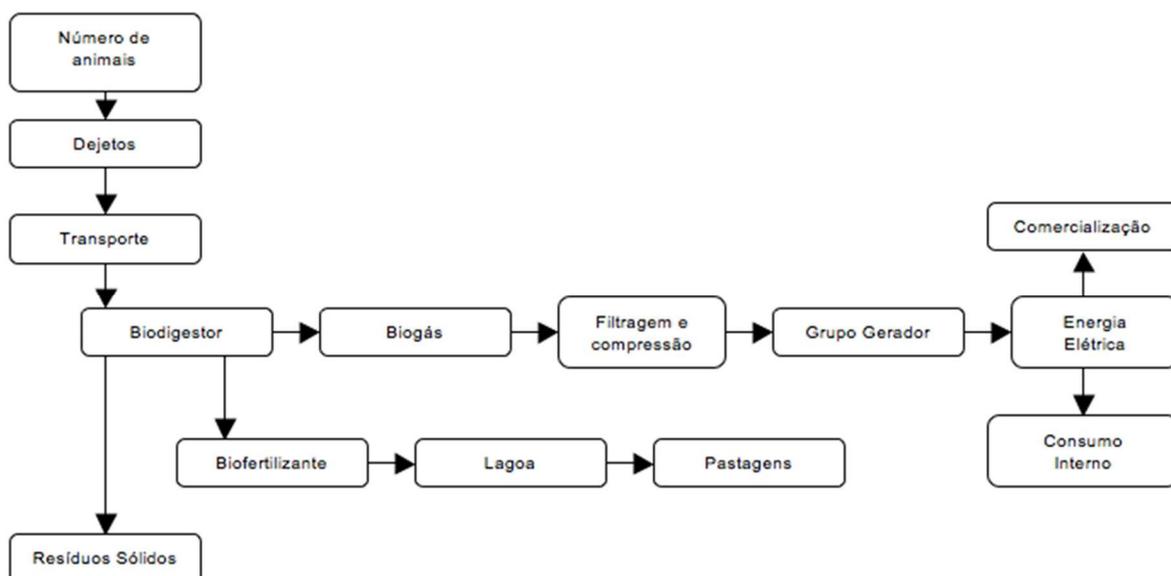
Para o auxílio no estudo da viabilidade técnico-econômica de um projeto de investimento, Souza e Clemente (2001, apud MACHADO 2011) cita que há dois grandes grupos de indicadores de projetos: aqueles associados à rentabilidade em que se aplicam os conceitos de análise do Valor Presente Líquido (VPL), Valor Presente Líquido Anual (VPLa), Taxa Interna de Retorno (TIR), Índice Benefício/Custo (IB/C) e o Retorno Sobre o Investimento Adicionado (RSIA); e os indicadores associados ao risco do projeto, em que se estimam a Taxa Interna de Retorno (TIR), Período de Recuperação do Investimento (*Payback*) e interseção de Fischer (taxa que torna o investidor indiferente entre duas alternativas). Neste trabalho, para a avaliação da viabilidade de implantação de um sistema de geração de energia elétrica a partir da conversão energética dos dejetos de suínos foram utilizados os indicadores VPL, TIR, e *Payback*, além da Taxa Mínima de atratividade (TMA).

A propriedade estudada se localiza no município de Forquilha, Santa Catarina. Seu sistema de produção se mantém de forma independente, comercializando a produção de suínos. Além da criação de suínos, a propriedade

diversifica suas atividades na produção leiteira, plantio de milho e arroz e pastagens.

Para este projeto foi desenvolvido um sistema de biodigestão com geração de energia elétrica e aproveitamento do biofertilizante de acordo com a estimativa de produção dos dejetos e necessidade de energia elétrica para o consumo na propriedade. A Figura 01 mostra um Fluxograma do sistema de biodigestão dos dejetos de suínos, desde o número de suínos, deslocamento dos dejetos, biodigestor e os subprodutos (biogás, biofertilizante e resíduos sólidos) e após o sistema de geração de energia elétrica e o seu destino de utilização.

Figura 01 - Fluxograma da obtenção de energia elétrica e biofertilizante.



Fonte: Adaptação de Prati, 2010.

Resultados e Discussão

Dimensionamento do Biodigestor

Para o cálculo da quantidade de dejetos suínos produzidos na propriedade foi utilizado o método desenvolvido por Farret (1999), obtendo-se um fluxo de 7,9 m³ de dejetos líquidos diários.

Para a escolha do modelo e do volume ideal de biodigestor é levada em consideração, entre outras variáveis, as condições locais do solo, capital e custo de manutenção mais baixo possível, alta eficiência compatibilizada com custos e operacionalidade, necessidade energética da propriedade (m³/dia) e disponibilidade de matéria-prima (NEVES, 2010).

Portanto, para uma propriedade que gere em torno 7,9 m³ diários de dejetos de suínos, seria necessária a instalação de um biodigestor do modelo Canadense com o mesmo (TRH) e dimensionamento adequado à demanda dos dejetos produzidos. Oliver et al. (2008), apresenta um método prático para estimar o tamanho do biodigestor (VB), na qual, utiliza-se quantidade de carga diária de biomassa gerada (VC) e o tempo de retenção (THR), conforme a fórmula:

$$VB = VC \cdot THR$$

No cálculo empregou-se o tempo de retenção máximo de 60 dias com o objetivo de manter uma margem de segurança de atendimento do biodigestor de acordo com o volume de dejetos gerados e o tempo de degradação da matéria orgânica. Neste caso o biodigestor deverá ser construído com o volume de 476 m³ para o atendimento dos dejetos gerados.

Neste estudo foi utilizado o fator de geração de biogás mais atual e de menor peso, 0,062 m³ de biogás/kg de dejetos, apresentado por COLATTO e LANGER (2011). Em resultado, a propriedade com 635 suínos confinados produz em torno de 1.948,70 kg de dejetos, que convertidos com fator de 0,062 m³ de biogás/kg, num biodigestor modelo Canadense com volume de 476 m³, estima-se uma geração 120,82 m³ de biogás/dia ou 5,03 m³ de biogás/hora.

Com a estimativa de produção de 5,03 m³/h biogás no biodigestor pode-se instalar um grupo gerador de 40 kWh com consumo de 5,0 m³/h, entretanto gerando um excedente de energia elétrica para o qual talvez não exista possibilidade de venda. Revendo este caso, fez-se necessário analisar a instalação de um gerador de menor potência, visando atender a demanda de consumo da propriedade sem grandes excedentes de energia elétrica.

De acordo com o fornecedor, o grupo gerador de 50 KVA, tem consumo médio de 5m³/h com capacidade nominal de geração de 40kWh. Com a eficiência estimada do equipamento na propriedade, manter-se-á teoricamente uma geração de 36 kWh. Sabendo que o consumo médio de energia elétrica na propriedade é de 3,57 kWh e o consumo máximo é de 5,06 kWh, utilizar-se-á 9,9% e 14% da energia elétrica a ser gerada, respectivamente.

Entretanto, mesmo que a propriedade mantenha um consumo médio de 2.568 kW/mês, a geração de energia elétrica pelo grupo gerador ainda se excede 25.920

kW/mês num regime de 24h diárias, teoricamente 10 vezes o consumo de um mês. Portanto espera-se, com uma produção de 120 m³ de biogás/dia e consumo do grupo gerador de 5 m³/h de biogás, a geração de 36 kWh na propriedade.

De acordo com o fornecedor, o gerador bioflex tem um consumo médio de biogás de 4,0 m³/h com capacidade nominal de geração de 8,5 kWh. Considerando os consumos médio (3,57 kWh) e máximo (5,06 kWh) de energia na propriedade, os excedentes seriam de 46,7 e 66,1 %, respectivamente, para uma geração de 7,65 kWh.

Deste modo, espera-se com uma produção de 120 m³ de biogás/dia e consumo do grupo gerador de 4,0 m³/h de biogás, a geração de 7,65 kWh na propriedade. Neste caso, ocorrerá a sobra de 1 m³ de biogás que conseqüentemente deverá ser queimado por um sistema manual.

Como objetivo deste trabalho, a energia elétrica gerada pelo aproveitamento dos dejetos de suínos será utilizada para a autossuficiência energética da propriedade.

Na propriedade o medidor de energia contabiliza o consumo da granja de suínos, da casa e da bomba de água para a irrigação do arroz, não sendo possível determinar individualmente o consumo de energia elétrica. Portanto, neste estudo o gasto com energia elétrica é calculado globalmente.

O excedente de energia elétrica derivada do biodigestor poderá ser vendido, se houver alguma cooperativa ou concessionária de energia interessada, caso contrário, a energia será cedida gratuitamente para a rede elétrica externa.

Para que seja possível a transmissão de energia elétrica excedente da propriedade, também há a necessidade de instalação de um sistema de segurança que desligue o grupo gerador, quando a rede elétrica externa for interrompida. O sistema de segurança torna-se obrigatório para assegurar a vida dos técnicos, caso estejam realizando a manutenção da rede elétrica externa.

A propriedade mantém um consumo constante (24 horas) de energia elétrica, portanto podem-se planejar duas formas de geração de eletricidade:

1. Manter o grupo gerador de 40 kWh ligado 24 h/diárias para suprir o consumo interno de energia elétrica da propriedade e vendendo o excedente para a rede externa, contudo diminuindo a vida útil do grupo gerador;
2. Utilizar um gerador de 8,5 kWh ligado 24 h/diárias para suprir o consumo

interno de energia elétrica da propriedade e vender o excedente para a rede externa, contudo haverá menor geração de energia elétrica e maior quantidade de biogás armazenado para queima.

Custo da Implantação do Biodigestor e da Lagoa Auxiliar

De acordo com os dados apontados neste estudo, foram levantados os custos que abrangem todos os materiais relacionados à construção do biodigestor como: vinimanta (*manta de PVC para impermeabilização*), despesas com terraplanagem, mão de obra, sistemas de drenagem, motobomba, caixas de concreto, saída de gás com queimador natural e saída de gás para utilização posterior.

Conforme orçado o valor para a construção deste sistema de biodigestão com 476,52 m³, incluindo a lagoa auxiliar é de R\$ 80.670,00. O custo de manutenção anual do biodigestor foi calculado da mesma forma considerada por Pecora (2006), que aplicou uma taxa de 4% sobre o valor dos equipamentos instalados. O valor de manutenção calculado para o projeto proposto é de R\$ 3.226,80 ao ano.

Para o cálculo de depreciação desta planta de biodigestão foi aplicado uma taxa de 10% ao ano conforme a Instrução Normativa SRF nº. 162, de 31 de dezembro de 1998, resultando num valor de R\$ 3.467,00 a.a. (RECEITA FEDERAL DO BRASIL, 2012).

Custo de Aquisição e Instalação do Grupo Gerador

Os custos de aquisição e instalação do grupo gerador foram calculados em função dos dois sistemas possíveis de serem instalados, com capacidades de geração de energia de 40 kWh e 8,5 kWh, conforme descrito nos cenários 01 e 02.

O valor para a aquisição do equipamento com 40 kWh de capacidade é de R\$ 92.600,00, mais o custo de manutenção de R\$ 3.704,00 ao ano, que representa 4% do valor do gerador. A depreciação tem valor estimado em R\$ 9.260,00 ao ano (taxa de 10% a.a.) (RECEITA FEDERAL DO BRASIL, 2012).

Nos mesmos termos, a instalação do gerador Bioflex com capacidade de geração de 8,5 kW/h custa R\$ 23.500,00, mais a manutenção de R\$ 940,00 ao ano e depreciação de R\$ 2.350,00 ao ano.

Financiamento e Comparativo das Receitas do Sistema de Biodigestão e Geração de Energia Elétrica

A propriedade avaliada não possui recursos financeiros suficientes para adquirir os equipamentos necessários do sistema de conversão energética proposto. Sendo assim, uma alternativa para aquisição desta planta seria o financiamento por meio do Banco BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento e Sustentabilidade) pelo Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural (PRONAMP).

Este programa permite o financiamento de até 100% do valor do projeto a uma taxa anual de 5%, com prazo total para pagamento de 8 anos e carência de 3 anos. O valor limite máximo do financiamento é de até R\$ 300.000,00 por ano.

O custo total de investimento da planta geradora do cenário 01 será de R\$ 176.770,00 e se financiado nas condições acima o valor do investimento em 8 anos será de R\$ 261.169,80. O custo total do investimento, incluindo o valor financiado e a manutenção dos equipamentos será de 8 (oito) parcelas anuais de R\$ 39.717,03.

Para o cenário 02 o total de investimento será de R\$ 107.670,00 e com o financiamento terá um valor final de R\$ 159.077,63. Nas mesmas condições que no cenário 01, terá 8 (oito) parcelas anuais de R\$ 24.191,50. Estes resultados são apresentados na Tabela 01, com a discriminação do custo em cada etapa do investimento.

Tabela 01 – Comparativo dos custos de investimento para geração de energia elétrica.

Comparativo dos custos de investimento para geração de energia elétrica		
	Cenário 01	Cenário 02
Biodigestor (capacidade 476,52 m ³)	R\$ 69.340,00	R\$ 69.340,00
Grupo Gerador	R\$ 92.600,00	R\$ 23.500,00
Lagoa Auxiliar (670,00 m ³)	R\$ 6.230,00	R\$ 6.230,00
Escavação lagoa	R\$ 5.100,00	R\$ 5.100,00
Abrigo Gerador	R\$ 3.500,00	R\$ 3.500,00
Total Investido	R\$ 176.770,00	R\$ 107.670,00
Financiamento (8 anos juros 5% a.a.)	R\$ 261.169,80	R\$ 159.077,63
Custo de Manutenção (8 anos)	R\$ 56.566,40	R\$ 34.454,40
Custo Total do Investimento	R\$ 317.736,20	R\$ 193.532,03
Parcela Anual	R\$ 39.717,03	R\$ 24.191,50

Energia Gerada (kW/Mês)	25.920	5.508
Consumo Médio (kW/Mês)	2.568	2.568
Excedente Energia (kW/Mês)	23.352	2.940
Economia com Energia Mensal	R\$ 525,09	R\$ 525,09
Venda Energia (R\$ 0,10 kWh)	R\$ 2.335,20	R\$ 294,00
ICMS não desembolsado	R\$ 135,45	R\$ 135,45
Receita Total Anual	R\$ 36.077,02	R\$ 11.582,62
Retorno Financeiro Anual	-R\$ 3.640,00	-R\$ 12.608,88
Déficit	-R\$ 29.120,00	-R\$ 100.871,03

Fonte: Elaboração dos autores

As entradas de caixa analisadas por meio deste sistema gerador de energia elétrica são referentes à redução nos gastos com energia elétrica na propriedade, antes fornecida pela cooperativa de eletrificação da região e à simulação de venda do excedente de energia gerado.

A planta geradora de energia elétrica da propriedade avaliada no cenário 01 poderá gerar 25.920 kW/mês. Descontando o consumo médio mensal interno de 2.568 kWh resulta em um excedente de 23.352 kWh para a venda. Aplicando este excedente a um valor de venda de 0,10 R\$/kWh obtém-se um faturamento mensal de R\$ 2.335,20. Analogamente para o cenário 02, com uma geração de 5.508,00 kW/mês o excedente de energia elétrica será de 2.940 kWh, obtendo um faturamento mensal de R\$ 294,00.

Como a unidade geradora pode suprir todo o consumo de energia elétrica da propriedade, o gasto mensal atual que é em média R\$ 622,13 incluindo o ICMS, pode ser considerado como uma economia. Deste modo, a receita total anual calculada com a venda do excedente e economia dos gastos mensais com energia elétrica e ICMS é de R\$ 36.077,02 para o cenário 01 e R\$ 11.582,62 para o cenário 02, resultando em déficit anual de R\$ 3.600,00 e R\$ 12.608,88, respectivamente. Esses resultados são apresentados na Tabela 01.

Cálculo do Período de Recuperação do Investimento (Payback)

O cálculo do período de recuperação do investimento foi realizado considerando-se os custos com e sem depreciação dos equipamentos, com a

simulação de venda do excedente de energia elétrica gerada pela planta e com o abatimento dos gastos de consumo de energia elétrica da propriedade.

De acordo com a Tabela 02, o *payback* com a venda do excedente de energia elétrica no cenário 01 é o quociente da divisão entre o custo total do investimento (R\$ 317.736,20) e a receita total anual (R\$ 36.077,02), o que corresponde a um período de 8,81 anos. Levando em consideração o custo de depreciação dos equipamentos o *payback* resultante é de 11,63 anos. Caso não seja vendido o excedente de energia elétrica, o período de recuperação é de 52,09 anos incluindo a depreciação e de 42,56 anos desconsiderando-a.

No cenário 02 o custo total de investimento (R\$ 193.532,03) dividido pela receita total anual incluindo a venda e a economia dos gastos com energia elétrica (R\$ 11.582,62), resulta num período de retorno de 16,71 anos. Considerando o valor da depreciação o *payback* é de 20,73 anos. Desconsiderando a receita obtida com a venda do excedente de energia elétrica o período de retorno é de 24,03 anos, que alcança os 32,16 anos caso seja incluído o valor da depreciação (Tabela 02).

Tabela 02 - Payback do investimento comparando os cenários 01 e 02.

Período de Recuperação do Investimento (<i>Payback</i>)		
<i>Payback</i> sem Depreciação	Cenário 01	Cenário 02
Com venda de energia elétrica (anos)	8,81	16,71
Depreciação Biodigestor (8 anos)	R\$ 27.736,00	R\$ 27.736,00
Depreciação Gerador (8 anos)	R\$ 74.080,00	R\$ 18.800,00
Depreciação Total (8 anos)	R\$ 101.816,00	R\$ 46.536,00
<i>Payback</i> com Depreciação		
Com venda de energia elétrica (anos)	11,63	20,73
<i>Payback</i> sem Depreciação		
Sem venda de energia elétrica (anos)	39,45	24,03
<i>Payback</i> com Depreciação		
Sem venda de energia elétrica (anos)	52,09	29,80

Fonte: Elaboração dos autores

Análise VPL, TIR e TMA

O valor presente líquido (VPL) é uma função utilizada na análise da viabilidade de um projeto de investimento. Ele é definido como o somatório dos valores presentes

dos fluxos estimados de uma aplicação, calculados a partir da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e de seu período de duração. Os fluxos estimados podem ser positivos ou negativos, de acordo com as entradas ou saídas de caixa. A TMA fornecida representa o rendimento esperado do projeto. Caso o VPL encontrado no cálculo seja negativo, o retorno do projeto será menor que o investimento inicial, o que sugere que ele seja reprovado. Caso ele seja positivo, o valor obtido no projeto pagará o investimento inicial, o que o torna viável (MACHADO, 2011). Ainda segundo o autor, a taxa interna de retorno (TIR) é a taxa de juros recebida para um investimento que consiste em pagamentos (valores negativos) e receitas (valores positivos) que ocorrem em períodos regulares. O projeto é economicamente viável quando a TIR for igual ou superior a TMA determinada pelo investidor. Devem ser incluídos no cálculo da TIR os custos de manutenção que são esperados como necessários durante o período avaliado.

A TMA foi definida neste estudo pelo somatório do rendimento da caderneta de poupança de 6% a.a. com a taxa de juros aplicada no financiamento do projeto de 5% a.a., resultando num total de 16%. Essa foi a taxa utilizada para o cálculo do VPL.

Na análise dos cenários 01 e 02 da avaliação da viabilidade do projeto com e sem a venda de energia elétrica, os cálculos apresentaram valores negativos para o VPL do investimento e a TIR resultante foi menor que a Taxa Mínima de Atratividade, como pode ser observado nas Tabelas 03 e 04. É importante ressaltar que, na Tabela 04, o resultado #NUM! Ocorre devido a uma técnica iterativa utilizada no excell para calcular o TIR, na qual, começando por estimativa, TIR refaz o cálculo até o resultado ter uma precisão de 0,00001 por cento. Se TIR não localizar um resultado o valor de erro #NÚM! será exibido.

Tabela 03 - Demonstrativo da análise VPL e TIR do projeto/com venda de energia.

Cenário 01			Cenário 02		
Avaliação da viabilidade do projeto (venda de energia)			Avaliação da viabilidade do projeto (venda de energia)		
Valor do Investimento	-R\$	233.336,40	Valor do Investimento	-R\$	142.124,40
1	R\$	36.077,02	1	R\$	11.582,62
2	R\$	36.077,02	2	R\$	11.582,62
3	R\$	36.077,02	3	R\$	11.582,62
4	R\$	36.077,02	4	R\$	11.582,62
5	R\$	36.077,02	5	R\$	11.582,62

6	R\$ 36.077,02	6	R\$ 11.582,62
7	R\$ 36.077,02	7	R\$ 11.582,62
8	R\$ 36.077,02	8	R\$ 11.582,62
TMA		16,00%	
VPL		-R\$ 76.632,57	
TIR		4,98%	
TMA		16,00%	
VPL		-R\$ 91.814,22	
TIR		-8,64%	

Fonte: Elaboração dos autores.

Tabela 04 - Demonstrativo da análise VPL e TIR do projeto/sem venda de energia.

Cenário 01		Cenário 02	
Avaliação da viabilidade do projeto (sem venda de energia)		Avaliação da viabilidade do projeto (sem venda de energia)	
Valor do Investimento	-R\$ 233.336,40	Valor do Investimento	-R\$ 142.124,40
1	R\$ 8.054,62	1	R\$ 8.054,62
2	R\$ 8.054,62	2	R\$ 8.054,62
3	R\$ 8.054,62	3	R\$ 8.054,62
4	R\$ 8.054,62	4	R\$ 8.054,62
5	R\$ 8.054,62	5	R\$ 8.054,62
6	R\$ 8.054,62	6	R\$ 8.054,62
7	R\$ 8.054,62	7	R\$ 8.054,62
8	R\$ 8.054,62	8	R\$ 8.054,62
TMA		16,00%	
VPL		-R\$ 198.350,41	
TIR		#NÚM!	
TMA		16,00%	
VPL		-R\$ 107.138,41	
TIR		-14,86%	

Fonte: Elaboração dos autores.

Considerações Finais

Na propriedade avaliada, estimou-se a produção de 120 m³ biogás em função de 1.948,70 kg de dejetos gerados, que por sua vez depende do seu peso corporal nas diferentes fases de produção dos suínos. A queima do biogás para a geração de energia elétrica foi analisada em dois cenários (01 e 02), utilizando-se grupos geradores com capacidades de geração de energia de 40 kWh e 8,5 kWh, respectivamente. No estudo também foi apresentado o investimento em equipamentos, como a aquisição de materiais para a construção do biodigestor, lagoa auxiliar e aquisição do grupo gerador, totalizando um custo R\$ 317.736,20 no cenário

01 e de R\$ 193.532,03 no cenário 02, já inclusos os gastos com manutenção dos equipamentos.

A venda do excedente de energia elétrica gerada e a economia da energia consumida de 25.920 kWh/mês no cenário 01 geram uma receita total anual de R\$ 35.487,99, portanto insuficiente para cobrir o custo total anual do investimento financiado de R\$ 39.717,03 dentro do período de 8 anos. Da mesma forma ocorre no cenário 02, no qual a receita total anual estimada é de R\$ 10.993,59, não cobrindo o custo total anual do investimento de R\$ 24.191,50, financiado em 8 anos.

Nos cenários 01 e 02 o *payback* do capital investido com a venda de energia é de 8,95 e 17,6 anos, sem considerar a depreciação e de 11,82 e 21,84 anos considerando a depreciação, respectivamente. No mesmo caso, mas sem considerar a venda do excedente de energia elétrica, os dois cenários apresentam período de retorno do investimento acima de 25 anos, ou seja, maior que a vida útil dos equipamentos do sistema de biodigestão.

Os cálculos da avaliação da viabilidade do projeto (cenários 01 e 02) apresentam um VPL negativo e uma TIR inferior a TMA, mostrando que a implantação do sistema de geração de energia elétrica com o processo de biodigestão dos dejetos de suínos na propriedade, apesar de ambientalmente favorável é inviável financeiramente.

Referências

ANGONESE, A. R.; CAMPOS, A.T.; ZACARKIM C. E.; MATSUO M. S; CUNHA F. **Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.10, n.3, p.745–750, 2006, Campina Grande, PB, DEAg/UFCG – Disponível: <http://www.agriambi.com.br>. Acessado em: mai. 2015.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO E SUSTENTABILIDADE. **Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural - PRONAMP Investimento** Disponível em :

<http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Programas_e_Fundos/pronamp.html>. Acessado em: jun. 2015.

BRONDANI, José Carlos. **Biodigestores e biogás: balanço energético, possibilidades de utilização e mitigação do efeito estufa**. 2010. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, RS. Santa Maria, Rio Grande do Sul. 2010. 118 p. il.

COLATTO, Luciulla; LANGER, Marcelo. **Biodigestor: resíduo sólido pecuário para produção de energia**. UNOESC & Ciência – ACET, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 119-128, jul./dez. 2011. Curso de Engenharia Bioenergética da Universidade do Oeste de Santa Catarina – Campus Xanxerê, SC.

FARRET, Felix Alberto. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. Santa Maria: UFSM, 1999.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase à agregação de valor: um estudo de caso da Região de Toledo – PR**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Florianópolis: UFSC, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, 2003, 106p. Disponível em: <http://www.tede.ufsc.br/teses/PEPS4022.pdf>. Acessado em: mai. 2015.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

HAACK, Sheyla Caetano. **Avaliação técnica e econômica para o aproveitamento da biomassa caprina em biodigestores no semi-árido baiano**. 2009. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, 2009. 209 p. il. fig. tab.

HONÓRIO, Micheline Orlandi. **Estimativa de crédito de carbono da produção e queima do biogás proveniente de dejetos suínos: estudo de caso**. 2009. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. 91 p. il.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. **Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil**. Caderno de Ciência e Tecnologia, v.22, nº3, 2005.

LACERDA, M. A, et al. **Efeitos tóxicos da exposição do monóxido de carbono: uma revisão**. Revista de atualização científica Pró - forno. São Paulo, vol.17, nº 3, Set. 2005.

MACHADO, Rosane Bueno. **O biodigestor como alternativa tecnológica para o tratamento de dejetos de suínos: um estudo de caso do sistema integrado de produção na região das missões do estado do Rio Grande do Sul**. 2011. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria - Santa Maria - Rio Grande do Sul. 2011. 119 p.

MAGALHÃES, A. P. T. **Biogás: um projeto de saneamento urbano**. 1986. São Paulo: Ed. Nobel, 1986. 120 p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Matriz Energética Nacional 2030 / Ministério de Minas Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética**. Brasília: MME; EPE, 2007. p. 254 : il. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 20 jun. 2015.

NEVES, Vera Lucia Vitorelli. **Construção de biodigestores para a produção i biogás a partir da fermentação de esterco bovino**. 2010. Trabalho de Graduação (Tecnólogo em Biocombustíveis) - Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - Araçatuba. São Paulo. 2010. 56 p. il.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. **Biodigestão: a alternativa energética**. Nobel: São Paulo, 1986.

OLIVER André de Paula Moniz; NETO, Aurélio de Andrade Souza; QUADROS, Danilo Gusmã; VALLADARES, Renata Everett. **Manual de Treinamento em Biodigestão**. Disponível em: < http://ieham.org/html/docs/Manual_Biodigestao.pdf> Acesso em: 15 de maio de 2015.

PECORA, Vanessa. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP**. 2006. Estudo de Caso (Dissertação de Mestrado). Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V.; KUNZ, A. **Metodologia sugerida para estimar o volume e a carga de poluentes gerados em uma granja de suínos**. **Concórdia**: Embrapa CNPSA. n.332, 2003. 6p. Comunicado Técnico.

RECEITA FEDERAL DO BRASIL. **Legislação Tributária e Aduaneira**. Disponível em: <http://www.receita.fazenda.gov.br/legislacao/ins/ant2001/1998/in16298.htm>. Acessado em: jul. 2015.

RICHARDSON, Roberto J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 1999. 334 p.

SEBRAE. **Suinocultura: carne in natura, embutidos e defumados**. Disponível: <http://www.sebrae.com.br>. Acessado em: 13 de jul. de 2015.

SOUZA, Kelly Christina Gutterres de, Jéferson M. Ortega, Rafael Nishimura e Paulo I. Koltermann. **Avaliação das oportunidades de negócio na geração de energia elétrica utilizando biodigestores via dinâmica de sistemas**. 2008.

VIRMOND, E. **Aproveitamento do lodo de tratamento primário de efluentes de um frigorífico como fonte de energia**. Dissertação. UFSC. Florianópolis. SC. 2007.

WALKER, Eliana. **Estudo da viabilidade econômica na utilização de Biomassa como fonte de energia renovável na Produção de biogás em propriedades rurais**. 2009. Dissertação (Mestre em Modelagem matemática) - Universidade Regional do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí, Rio Grande do Sul. 2009. 107 p. il.

Dados para contato:

Autor: Glauce Warmeling Duarte

E-mail: nutec@unibave.net