

Modelo Matemático para Estudo da Viabilidade Econômica da Implantação de Biodigestores em Propriedades Rurais

Eliana Walker

Depto de Física, Estatística e Matemática, DEFEM, UNIJUI
98700-000, Ijuí, RS
E-mail: eliana-walker@hotmail.com

Gideon Villar Leandro

Depto de Engenharia Elétrica, DEL, UFPR
CEP 81531-990, Curitiba, PR
E-mail: gideonvillar@gmail.com

Robinson Figueiredo de Camargo

Depto de Tecnologia, DETEC, UNIJUI
98700-000, Ijuí, UNIJUI
E-mail: robinson.camargo@unijui.edu.br

Júlio César Oliveira Bolacell

Depto de Tecnologia, DETEC, UNIJUI
98700-000, Ijuí, UNIJUI
E-mail: bolacell@unijui.edu.br

***Resumo:** Pela importância que os fatores econômicos têm na determinação da utilização de fontes renováveis, este artigo apresenta o estudo da viabilidade econômica da implantação de biodigestores em propriedades rurais para geração de energia elétrica. O estudo está baseado em um modelo matemático construído que utiliza o ferramental da pesquisa operacional. Neste modelo estão incorporados os aspectos referentes a receitas, custos e produção de energia de um biodigestor descontínuo (batelada), que utiliza os dejetos de suínos como matéria orgânica. Os resultados apresentados foram obtidos através de um aplicativo desenvolvido no software Matlab®, para uma propriedade rural cujo biodigestor possui uma capacidade de 1.188 m³ e um rebanho de 3 mil suínos.*

***Palavras chave:** viabilidade econômica, energia alternativa, biodigestor, propriedades rurais.*

1 Introdução

No Brasil, nos últimos anos, as energias renováveis têm obtido destaque cada vez maior, pois podem ser a solução para os problemas energéticos que vêm ocorrendo, como o racionamento de energia elétrica, em 2001; o aumento do consumo de energia; o baixo nível dos reservatórios de águas em determinadas épocas do ano ocasionado pela falta de chuva.

A maior parte do consumo de energia no Brasil é provida por usinas hidrelétricas, mas, para atender à crescente demanda, a construção de novas hidrelétricas resultaria em grandes impactos ambientais. Portanto, uma alternativa é o desenvolvimento sustentável através de fontes de energia renováveis, tais como energia solar, energia eólica e biomassa.

Biomassa é a massa total de matéria orgânica que se acumula em um espaço vital. Assim são consideradas biomassas, todas as plantas e todos os animais, inclusive seus resíduos, as matérias orgânicas transformadas, provenientes de indústrias alimentícias e indústrias transformadoras de madeira [2].

Cabe ressaltar que a biomassa é uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos. Tanto no mercado internacional quanto no interno, ela é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a conseqüente redução da dependência dos combustíveis fósseis. Dela é possível obter energia elétrica e biocombustíveis, como biodiesel e o etanol, cujo consumo é crescente em substituição aos derivados de petróleo como o óleo diesel e a gasolina [1].

O aproveitamento da biomassa pode ser feito por meio da combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte/quebra, etc.), de processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) ou de processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação) [1]. Para que haja o aproveitamento da biomassa utilizam-se biodigestores, os quais oferecem condições para que as bactérias presentes atuem sobre a biomassa, produzindo assim o biogás.

Este trabalho aborda o uso de dejetos de suínos como fonte para a produção de biogás e será utilizado o biodigestor à batelada do tipo descontínuo, adequado para implementação em pequenas propriedades. Os dejetos de suínos são bastante vantajosos quando comparados com os de outros animais (aves, bovinos, caprinos), por produzirem uma grande quantidade diária e pela facilidade da coleta, já que a maior parte é criada em sistema de confinamento.

Será desenvolvido um modelo para verificar a viabilidade econômica do uso de dejetos de suínos para a geração de energia elétrica através de biodigestores. O estudo está baseado em dados colhidos na propriedade: energia produzida, valor de mercado da energia, gasto com energia elétrica, custo para a implementação do biodigestor, número de funcionários para a manutenção, salário dos funcionários, vida útil do biodigestor, número de animais e tempo de permanência do suíno na propriedade.

2 Biogás e biodigestor

O biogás produzido a partir de resíduos agropecuários pode promover a autonomia energética de propriedades rurais. Seu uso pode contribuir para agregação de valor de produtos agroindustriais, suprimento autônomo de combustível para várias utilidades, como para alimentação de sistemas de bombeamento para irrigação, podendo viabilizar tais empreendimentos [3].

Grande parte dos resíduos de animais é simplesmente descartado, esses resíduos podem ser fermentados e formar o biogás, uma fonte não-poluidora de energia. O biogás, ao contrário do álcool da cana-de-açúcar e de óleo extraídos de outras culturas, não compete com a produção de alimentos em busca de terras disponíveis. Afinal ele pode ser inteiramente obtido de resíduos agrícolas, ou mesmo de excrementos de animais e dos homens. Assim, ao contrário de ser um fator de poluição, transforma-se em um auxiliar do saneamento ambiental. O biogás pode ser

produzido a partir do lixo urbano, como já se faz nos chamados “aterros sanitários” de quase todos os países desenvolvidos do mundo e cuja experiência começa a ser implementada em algumas cidades brasileiras. Nas propriedades agrícolas, ele pode ser produzido em aparelhos simples, os chamados biodigestores [8].

O biodigestor constitui-se de uma câmara fechada onde é colocado o material orgânico, em solução aquosa, onde sofre decomposição, gerando o biogás que irá se acumular na parte superior da referida câmara. A decomposição que o material sofre no interior do biodigestor, com a conseqüente geração de biogás, chama-se digestão anaeróbica [5].

Quanto à forma de abastecimento os biodigestores se classificam em: a) descontínuos (batelada) e b) contínuos. Os biodigestores em batelada recebem um carregamento de matéria orgânica, que só é substituído após um período adequado à digestão de todo o lote. Os biodigestores contínuos são construídos de tal forma que podem ser abastecidos diariamente, permitindo que a cada entrada de material orgânico a ser processado exista uma saída de material já processado [8].

3 Modelo Matemático

A seguir pode-se observar uma representação genérica do modelo matemático utilizado neste trabalho para a análise da viabilidade econômica, feita utilizando-se o ferramental da programação linear.

Maximizar ou minimizar a função objetivo:

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \text{ (a)}$$

Sujeito às restrições:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq r_1 \text{ (b)}$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq r_2 \text{ (c)}$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq r_m \text{ (d)}$$

$$x_j \geq 0 \text{ (} 1, 2, \dots, n \text{)} \text{ (e)}$$

onde:

(a) representa a função matemática que codifica o objetivo do problema e é denominada função objetivo (Z). Na programação linear esta função deve ser linear.

(b)-(e) representam as funções matemáticas lineares que codificam as principais restrições identificadas.

(e) restrição de não-negatividade, o que equivale a dizer que as variáveis de decisão podem assumir qualquer valor positivo ou zero.

“ x_j ” são as variáveis decisórias que representam as quantidades que se quer determinar para otimizar o resultado global.

“ c_i ” são os coeficientes de ganho ou custo que cada variável é capaz de gerar.

“ r_j ” representa a quantidade disponível de cada recurso.

“ a_{ij} ” representa a quantidade de recursos que cada variável decisória consome. [7]

Obs.: $j = 1, 2, 3, \dots, n$.

Com base no modelo descrito acima construiu-se um modelo de otimização linear dado a seguir:

$$\begin{aligned} \max \quad RL &= RT - CT \\ &= (T * P_c * E_p + G_s) * x - C_{man} \end{aligned}$$

Onde $C_{man} = N_f * S_f * m + G_e$

sujeito a

$$E_p \leq v_d * B_{mo} * E_{cb} * C_{bee} * x$$

$$C_{man} \geq (C_f * C_a + C_{ma}) * x$$

$$II \geq (P_c + I_g + B_{io}) * x + G_{er}$$

sendo:

x – número de suínos

RL – renda líquida gerada pelo projeto

RT – receita total

CT – custos totais

T – total de horas analisado

P_c – valor da energia elétrica

E_p – energia elétrica produzida

G_s – ganho por cabeça de suíno

II – investimento inicial

C_{man} – Custo de manutenção dos equipamentos

G_e - gasto de energia com os suínos

N_f – número de funcionários

S_f – salário dos funcionários

m – número de meses do período

D – depreciação

P – pintura dos pavilhões dos suínos

L – troca de lonas

M_t – troca do motor gerador

V_d – volume de dejetos por cabeça por dia

B_{mo} = 0.75 → biodegradabilidade da matéria orgânica

E_{cb} = 0.85 → eficiência de conversão no biodigestor

C_{bee} = 0.25 → conversão do biogás em energia elétrica (ciclo Otto)

C_f – custo do funcionário por número de cabeças de suínos

C_a – custo da alimentação por cabeça de suínos

C_{ma} – custo da manutenção da instalação por cabeça de suínos

P_c – preço por cabeça de suíno

I_g – custo do metro da instalação por número de cabeças de suínos por metro

B_{io} – custo do metro quadrado do biodigestor pelo número de cabeças de suíno

G_{er} – custo do gerador de energia elétrica

Tendo a *RL* maximizada, pode-se fazer uma análise econômica, de rentabilidade e financeira do projeto.

Pela análise econômica, vai responder o *FE*, que é a contribuição do projeto em termos de disponibilidade monetária.

$$FE = RL + D \tag{1}$$

FE representa o fluxo econômico gerado pelo projeto, RL a receita líquida e D a depreciação dos equipamentos.

Para a análise de rentabilidade é utilizada uma taxa mínima de atratividade - também chamada de custo de oportunidade ou taxa de desconto - que é aquela paga pelo mercado financeiro em investimentos correntes (poupança, fundos de investimentos, entre outros). Essa taxa é utilizada para representar os fluxos de caixa em valores presentes. [9] A análise da rentabilidade será feita levando em consideração três indicadores:

a) O Valor Presente Líquido (VPL), que é o retorno líquido atualizado gerado pelo projeto, e que permite analisar a viabilidade econômica do projeto a longo prazo.

$$VPL = -II + \sum_{j=1}^n \frac{FE_j}{(1+r)^j} \quad (2)$$

FE_j representa o fluxo econômico do projeto por período, n o número de períodos que representa o horizonte do projeto, j a duração de um período em dias e r a taxa de juros cobrada por período [6].

b) A Taxa Interna de Retorno (TIR), é a taxa de juros que zera o VPL , evidencia a taxa máxima de juros que um projeto suportaria. Quanto maior a TIR , mais desejável é um investimento.

$$\sum_{j=1}^n \frac{FE_j}{(1+\alpha)^j} = 0 \quad (3)$$

FE_j representa o fluxo econômico do projeto por período, n o número de períodos que representa o horizonte do projeto, j a duração de um período em dias e α a taxa interna de retorno [6].

c) O Período de Recuperação do Capital (PRK), que é o prazo de tempo necessário para que os desembolsos sejam integralmente recuperados [6].

4 Resultados

Para a validação do modelo proposto, foi escolhida uma propriedade rural no município de Ibirubá-RS. Os dados coletados serão utilizados para gerar três cenários. Tais cenários foram obtidos ao se considerar uma taxa mínima de atratividade.

Os seguintes dados são utilizados em todos os cenários:

- kWh /Concessionária I: R\$ 0,238769
- Vida útil do projeto: 10 anos

Cenário 1: taxa mínima de atratividade = 0

Cenário1	
Investimento Inicial	R\$ 200.000,00
Depreciação Total	R\$10.875,00
Receita Total	R\$ 879.624,00
Receita Líquida	R\$ 632.424,00
Custos Totais	R\$ 247.200,00
Fluxo econômico	R\$ 97.834,00
Valor Presente Líquido	R\$ 97.834,00
Taxa Interna de Retorno	4,06 %
Período de Recuperação do Capital	7 meses

Tabela 1: Cenário 1

Cenário 2: taxa mínima de atratividade = 0,06

Cenário2	
Investimento Inicial	R\$ 200.000,00
Depreciação Total	R\$10.875,00
Receita Total	R\$ 879.624,00
Receita Líquida	R\$ 632.424,00
Custos Totais	R\$ 247.200,00
Fluxo econômico	R\$ 97.834,00
Valor Presente Líquido	R\$ 20.258,64,00
Taxa Interna de Retorno	7,03 %
Período de Recuperação do Capital	7 meses

Tabela 2: Cenário 2

Cenário 3: taxa mínima de atratividade = 0,12

Cenário3	
Investimento Inicial	R\$ 200.000,00
Depreciação Total	R\$10.875,00
Receita Total	R\$ 879.624,00
Receita Líquida	R\$ 632.424,00
Custos Totais	R\$ 247.200,00
Fluxo econômico	R\$ 97.834,00
Valor Presente Líquido	R\$ -29.904,28
Taxa Interna de Retorno	10,20 %
Período de Recuperação do Capital	7 meses

Tabela 3: Cenário 3

5 Conclusões

Os três cenários apresentados apontam um retorno do capital inicial investido bastante rápido, isto é, já durante o segundo ano de funcionamento o capital é recuperado independentemente da taxa de atratividade mostrada em cada cenário. Isso mostra que a produção de energia elétrica através do uso de biodigestores em propriedades rurais é válido e promissor, apesar deste trabalho estar usando um modelo simplificado.

Ao lado destes três, há uma variada gama de outros cenários que podem ser explorados com a introdução de variáveis no modelo proposto, tais como: financiamento da estrutura e do biodigestor, créditos de carbono, utilização dos dejetos como fertilizante, etc.

6 Referências

1. M. A. N. Andrade. Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental. UFSC. In: 4º Encontro de energia no meio rural – AGRENER 2002. Campinas/SP, pp. 1-12, 2002.
2. ANEEL; Capítulo 5: Biomassa. Disponível na página da internet: <[www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)> Acessado em 06/02/2009
3. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Parte II, Fontes Renováveis, Capítulo 4, Biomassa. 2008.
4. A. Coldebella, “Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais”, Dissertação de Mestrado, CCET-Unioeste, 2006.
5. R. Denagutti, et al. ; Biodigestores rurais: modelo indiano chinês e batelada. Disponível na página da internet: <<http://www.feagri.unicamp.br/energia/agre2002/pdf/0004.pdf>> Acessado em: 07/10/2008
6. J. C. Lapponi, “Projetos de Investimento: Construção e avaliação de Fluxo de Caixa: Modelos em Excel”, Lapponi Treinamento e Editora, São Paulo, 2000.
7. F. R. Moreira; Programação linear aplicada a problemas da área da saúde; Disponível na página da internet: <www.einstein.br/biblioteca/artigos/Programacao%20linear%20traduzidos.pdf>2003.
8. M. V. Turdera. D. Yura. Estudo da viabilidade econômica de um biodigestor no município de dourados. UEMS. In: 6º Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural - AGRENER 2006. Campinas/SP, pp. 1-7, 2006.
9. F. S. Westphal, R. Lamberts. Estudo de viabilidade econômica de uma proposta de retrofit em um edifício comercial. UFSC. In; V ENCAC, 1999, Fortaleza/CE, pp. 1-7, 1999.