



Evento: XXVI Jornada de Pesquisa

BIODIGESTORES ANAERÓBIOS: AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE ECONÔMICA¹

ANAEROBIC DIGESTERS: ECONOMIC FEASIBILITY ASSESSMENT

Luana Obregon², João M. Lenz³, Maurício de Campos⁴, Airam M. T. R. Sausen⁵, Paulo S. Sausen⁶

¹ Projeto de pesquisa desenvolvido no Programa de Pós-Graduação Mestrado em Modelagem Matemática e Computacional da UNIJUÍ.

² Mestranda em Modelagem Matemática e Computacional na UNIJUÍ

^{3,4,5,6} Doutores em Engenharia Elétrica, Programa de Pós-Graduação Mestrado e Doutorado em Modelagem Matemática e Computacional da UNIJUÍ

RESUMO

A possibilidade de geração de eletricidade a partir de uma matéria prima usualmente não aproveitada, como os dejetos de animais, além de atraente, oferece um fator benéfico também para o meio ambiente. Este trabalho avalia a viabilidade econômica da produção de energia elétrica por meio do biogás da suinocultura considerando uma metodologia validada de estimativa da produção de metano dos dejetos suínos. Com as metodologias financeiras do Valor Presente Líquido, Taxa Mínima de Atratividade, Taxa Interna de Retorno, custo e receitas da produção, estimou-se o tempo de retorno do investimento inicial (payback) para diferentes tempos de geração diária, a fim de entender se há e qual é a viabilidade econômica desta fonte de energia renovável.

Palavras-chave: biogás, bioenergia, biodigestor, viabilidade econômica, energia renovável.

ABSTRACT

Electricity generation with a normally unused raw material such as animal waste besides attractive, also offers benefits to the environment. This paper evaluate the economic feasibility of the energy production with pig manure in anaerobic digesters using a validated method for methane productivity estimation. With the financial methodologies of Net Present Value, Minimum Attractiveness Rate, Internal Rate of Return, production cost and revenues, the payback of the investment was estimated for different periods of daily generation, aiming to understand if there is and what is the economic feasibility of this renewable source of energy.

Keywords: Biogas. Bioenergy. Digester. Economic feasibility. Renewable energy.

INTRODUÇÃO

As fontes de energia renovável se mostram como grandes aliadas na difícil tarefa de atender à crescente demanda energética contribuindo com a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE). A biomassa é considerada uma fonte de energia renovável pois se define como toda a matéria orgânica de origem animal e vegetal e não contribui para o acúmulo de



dióxido de carbono na atmosfera terrestre, uma vez que seu ciclo é contínuo, e não acumulativo, conforme de Souza, Souza e Machado (2004). Com a digestão anaeróbia da biomassa em biodigestores é produzido o biogás, que utilizado como combustível em conjuntos motogeradores, gera energia elétrica e térmica, conforme demonstram os estudos de de Souza, Souza e Machado (2004), Abbasi, Tauseef e Abbasi (2012), Treichel (2012), Borges et al. (2021), Jiang et al. (2017).

A possibilidade de geração de eletricidade a partir de uma matéria prima usualmente não aproveitada, como os dejetos de animais, é atraente. Além disso, a produção de biogás oferece um fator benéfico também para o meio ambiente. Os dejetos de animais quando em decomposição, liberam Metano (CH_4), Óxido Nitroso (N_2O) e Dióxido de Carbono (CO_2), gases com potencial de aquecimento global (PAG). O PAG do CH_4 e do N_2O é aproximadamente 25 e 298 vezes maior que do CO_2 , respectivamente. Os biodigestores são capazes de digerir anaeróbiamente os dejetos de animais, capturar o Metano para a produção de energia elétrica e/ou térmica (liberando CO_2 e água) e produzir biofertilizante com o Óxido Nitroso e sub-produtos da biodigestão Garcia-González et al. (2019), WBA}. Desta forma, é possível converter o manejo de estrume de fonte geradora de GEE para fonte geradora de energia renovável através do biogás.

O Brasil é um dos maiores produtores de carne suína do mundo Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2021), por este motivo possui abundância de matéria prima para a implementação de biodigestores de resíduos suínos. As referências Martins e Oliveira (2011), de Souza, Souza e Machado (2004), Coldebella et al. (2008), Avaci et al. (2013), Cervi, Esperancini e Bueno (2010) apresentam a análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente de dejetos da suinocultura. Os autores consideram fatores como o investimento inicial, despesas anuais da implementação, operação e manutenção do biodigestor e conjunto motor-gerador e as receitas anuais com a geração própria de energia elétrica considerando a tarifa de energia local, simulando o funcionamento do conjunto motor-gerador em diferentes períodos diários nas quais produz uma quantidade constante de energia. Os estudos verificam que o retorno do investimento se torna mais rápido quanto maior o tempo diário de utilização, devendo ser observada a necessidade energética da propriedade rural. Dentre estas referências, somente Martins e Oliveira (2011) consideram o tempo de retenção hidráulico (TRH) dos dejetos de suínos, sendo que as outras referências consideram apenas a



capacidade de geração de metano dos dejetos. Entretanto, para determinar a quantidade de biogás produzida, é necessário considerar certos fatores importantes como o próprio TRH, a temperatura e características químicas específicas dos resíduos suínos, existindo diversas metodologias para tal.

Neste sentido, objetivou-se neste trabalho avaliar a viabilidade econômica da produção de energia proveniente do biogás da suinocultura, considerando uma metodologia validada de estimativa da produção de metano dos dejetos suínos. Com as metodologias financeiras do Valor Presente Líquido, Taxa Mínima de Atratividade, Taxa Interna de Retorno, custo e receitas da produção, estimou-se o tempo de retorno do investimento inicial (*payback*).

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizando as metodologias de Avaci et al. (2013), Cervi, Esperancini e Bueno (2010), Martins e Oliveira (2011) e Mito et al. (2018), e considerando as características de operação descritas por de Souza, Souza e Machado (2004) e Coldebella et al. (2008), realizou-se a análise da viabilidade econômica de um sistema biodigestor com geração de 40 kWh de energia por períodos de geração diários de 10, 14 e 18h dia⁻¹, estimando que a planta funcionará 312 dias por ano, desconsiderando domingos e feriados (sendo que as manutenções do sistema seriam realizadas nestes dias). A referência Mito et al. (2018) compara diversas metodologias de estimativa de produção de biogás por dejetos suínos e então apresenta as características químicas do estrume de porcos, para então determinar o modelo mais preciso, com base em dados reais de unidades de observação localizadas em granjas de suínos. O método mais adequado apresentado pela referência se baseia nos estudos de Chen (1983), abordando parâmetros como os Sólidos Voláteis (*SV*) dos dejetos e a capacidade máxima de geração de biogás (*B₀*) pelos mesmos, sendo descrito pelas Equações 1, 2, 3 e 4:

$$PdM = \frac{B_0 \times SV}{TRH} \times \left(1 - \frac{k}{TRH \times \mu m - 1 + k}\right) \quad [1]$$

$$k = 0,5 + 0,0043 \times e^{0,051 \times SV} \quad [2]$$

$$\mu m = 0,013 \times T - 0,0129 \quad [3]$$

$$PrM = PdM \times V_{bio} \quad [4]$$



onde PdM é a produtividade em m^3 de metano por m^3 do biodigestor ao dia [$m^3_{CH_4} m^{-3}_{bio} dia^{-1}$], B_0 é a capacidade de produção de metano pelo dejetos [$m^3_{CH_4} kg_{sv}^{-1}$], SV é a concentração de sólidos voláteis do dejetos [$g_{sv} L^{-1}$], TRH é o tempo de retenção hidráulica [dias], k é o coeficiente cinético [adimensional], μ_m é a velocidade máxima de crescimento específico [dia^{-1}], T é a temperatura [$^{\circ}C$], PrM é a produção diária de metano [$m^3_{CH_4} dia^{-1}$] e V_{bio} é o volume do biodigestor [m^3].

Mito et al. (2018) declara que a partir do modelo de Chen (1983) realizou uma adaptação para obter o valor estimado em biogás, considerando que o metano representa 60% do biogás. Considerando que o conjunto motor-gerador estudado tem as mesmas características do modelo avaliado por Martins e Oliveira (2011), com potência nominal de 40 kW e consumo de $25m^3$ hora $^{-1}$ de biogás, é possível estimar os valores de demanda de biogás por dia, conforme apresentado na Tabela 2, cujas características dos dejetos são demonstradas pela Tabela 1. O volume do biodigestor e o número de suínos necessários para que se atinja o volume de biogás demandado pelo gerador foi determinado conforme as Equações 5 e 6 de Martins e Oliveira (2011):

$$V_{bio} = \frac{1}{k} D_{bio} \quad [5]$$

$$N_{sui} = \left(\frac{V_{bio}}{TRH} \right) / V_{dej} \quad [6]$$

onde V_{bio} é o Volume de biomassa no biodigestor [m^3], N_{sui} é o número de suínos necessário para a produção de dejetos e V_{dej} é o volume médio de dejetos produzido por suíno [$m^3 dia^{-1}$].

Tabela 1: Características dos dejetos suínos

B_0 ($m^3_{CH_4} kg_{sv}^{-1}$)	0,32 ¹
SV ($g_{sv} L^{-1}$)	35,38 ¹
TRH (dias)	30 ²
PdM ($m^3_{CH_4} m^{-3}_{bio} dia^{-1}$)	0,3619

Fonte: ¹ Mito et al. (2018), ² Martins e Oliveira (2011)



Tabela 2: Características de operação do biodigestor

Tempo de funcionamento (h dia ⁻¹)	10	14	18
Demanda de biogás (m ³ dia ⁻¹)	250	350	450
Potência nominal (kW)	40	40	40
Energia gerada (kWh ano ⁻¹)	124.800	174.720	224.640
Energia gerada (kWh mês ⁻¹)	10.400	14.560	18;720
V_{bio} necessário (m ³)	414,5233	580,3326	746,1419
Número de animais necessários	1345	1882	2420

Fonte: Da autora

A análise da viabilidade econômica foi realizada conforme o método do Valor Presente Líquido (VPL) e, a partir deste e do fluxo de caixa anual, é possível obter a Taxa Interna de Retorno e o *payback*. O VPL é calculado pela Equação 7:

$$VPL = -C_0 + \frac{R_1 - C_1}{1 + r} + \frac{R_2 - C_2}{(1 + r)^2} + \dots + \frac{R_T - C_T}{(1 + r)^T} \quad [7]$$

em que VPL é a soma atualizada dos lucros que o decisor auferê ao longo do período de planejamento do projeto [R\$], C_0 é o capital necessário para o investimento inicial [R\$], R_t é a receita anual [R\$], C_t é o custo anual [R\$], r representa a taxa de juros anual [%] e T é o horizonte de planejamento do projeto [anos].

O tempo de retorno do investimento (*payback*) é dado no momento em que o VPL do projeto se torna positivo, levando-se em conta o desconto dos juros nos fluxos nominais previstos. A receita (R_t) corresponde ao valor da energia que o produtor deixa de pagar à concessionária ao gerar sua própria energia, considerando-se o limite de 40 kWh do gerador, multiplicada pelo valor da tarifa. O desembolso (C_t) foi definido pela soma dos custos de manutenção do motor-gerador e do biodigestor. A receita líquida anual é a diferença entre a receita (R_t) e o desembolso (C_t). A taxa de juros (r) foi definida em 5,40% ao ano, correspondente à taxa Selic da economia brasileira em dezembro de 2019 (menor taxa de juros possível em financiamentos deste tipo) (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2021). O horizonte de planejamento (T) considerado foi de 10 anos (tempo de financiamento). Foi considerado



financiado o valor integral do investimento inicial, para avaliar o efeito dos juros na viabilidade econômica.

Os valores referentes à implementação e do biodigestor e conjunto motor-gerador foram obtidos através do trabalho de Martins e Oliveira (2011), sendo que os valores da implementação do biodigestor foram calculados por m³ de volume, demonstrados na Tabela 3. Foi considerada a tarifa de energia Rural da concessionária RGE na região da cidade de Catuípe/RS, de R\$0,2252 por kWh na bandeira tarifária verde, R\$ 0,2386 por kWh na bandeira amarela e R\$0,2876 por kWh na bandeira vermelha, considerando o perfil de bandeiras tarifárias do ano de 2019, em que a bandeira verde teve vigência por 5 meses, a bandeira amarela por 4 meses e a bandeira vermelha por 3 meses (COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ, 2021), (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2021)

Tabela 3: Investimentos no sistema biodigestor e motor-gerador

Tempo de funcionamento (h dia ⁻¹)	10	14	18
Terraplenagem e escavação	R\$ 3.436,23	R\$ 4.810,72	R\$ 6.185,22
Parte civil e bomba hidráulica	R\$ 7.559,58	R\$ 10.583,41	R\$ 13.607,24
Vida útil (anos)	20	20	20
Tubos e conexões	R\$ 947,10	R\$ 1.325,94	R\$ 1.704,78
Manta superior e inferior	R\$ 16.551,75	R\$ 23.172,45	R\$ 29.793,15
Acessórios	R\$ 3.321,49	R\$ 4.650,09	R\$ 5.978,69
Mão de obra	R\$ 2.672,85	R\$ 3.741,98	R\$ 4.811,12
Vida útil (anos)	10	10	10
Depreciação (R\$ ano ⁻¹)	R\$ 2.899,11	R\$ 4.058,75	R\$ 5.218,40
Investimento biodigestor	R\$ 34.509,00	R\$ 48.304,60	R\$ 62.100,20
Investimento motor-gerador	R\$ 45.000,00	R\$ 45.000,00	R\$ 45.000,00
Vida útil (anos)	10	10	10
Depreciação (R\$ ano ⁻¹)	R\$ 4.500,00	R\$ 4.500,00	R\$ 4.500,00
Capital total de investimento	R\$ 79.509,00	R\$ 93.304,60	R\$ 107.100,20

Fonte: Da autora



RESULTADOS

Assim, obtiveram-se os valores de receitas e custos anuais, sendo possível calcular o fluxo de caixa anual nos dez anos de planejamento, e assim obter o VPL e TIR do investimento, apresentados na Tabela 4. Foi considerada uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) igual à taxa de juros. Quando o valor da TIR é maior que a TMA, pode-se considerar que há viabilidade econômica, devendo-se aliar esta análise às demais características do investimento. Considerando os dados das Tabelas 2, 3 e 4 é possível perceber que com um período de funcionamento de 10 horas diárias, há viabilidade econômica para um biodigestor de dejetos suínos de 40 kWh nas condições tarifárias apresentadas, sendo a TIR maior que a TMA e o retorno do investimento ocorrendo após 7,24 anos, considerando-se os juros do financiamento. Considerando que o conjunto motor-gerador possui uma vida útil de 10 anos, o sistema teria 2,76 anos de lucro, ou seja, a energia seria gerada sem custo durante este período, e então o conjunto motor-gerador deveria ser trocado, assim como os demais itens com 10 anos de vida útil da Tabela 3. Nos demais períodos de funcionamento diário observou-se também a viabilidade econômica, sendo que com 14 horas diárias de geração ter-se-ia um retorno de investimento em 5,39 anos e com 18 horas dia⁻¹ o *payback* se dar-se-ia em 4,60 anos.

Tabela 4: Resultados de viabilidade econômica

Tempo de funcionamento (h dia ⁻¹)	10	14	18
Receita anual com geração própria	R\$30.607,72	R\$42.850,81	R\$55.093,90
Custo anual (considerando juros)	R\$17.178,33	R\$20.464,62	R\$23.750,92
Custo anual (desconsiderando juros)	R\$12.884,84	R\$15.426,18	R\$17.967,51
Fluxo de caixa (consid. Juros) (R\$ ano ⁻¹)	R\$13.429,39	R\$22.386,18	R\$31.342,98
Fluxo de caixa (desconsid. Juros) (R\$ ano ⁻¹)	R\$17.722,88	R\$27.424,63	R\$37.126,39
VPL	R\$54.722,52	R\$114.407,16	R\$174.091,80
TMA	5,40%	5,40%	5,40%
TIR	18%	27%	33%
Payback simples (anos)	5,49	4,40	3,88
Payback econômico (anos)	7,24	5,39	4,60
Viabilidade econômica	SIM	SIM	SIM

Fonte: Da autora



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se através dos resultados deste trabalho que a implementação de biodigestores anaeróbios de dejetos de animais apresenta viabilidade econômica para unidades consumidoras rurais com consumo de energia igual ou maior que 10.400 kWh por mês, utilizando um conjunto motor-gerador de potência nominal de 40 kW. Para períodos de geração diários de 10, 14 e 18 horas, percebeu-se que há retorno financeiro em 7,24, 5,39 e 4,60 anos, respectivamente, sendo que no restante do tempo de horizonte de planejamento haveria geração de energia elétrica sem custo, observando-se os valores de fluxo de caixa e valor presente líquido da Tabela 4.

Em trabalhos futuros pretende-se publicar os detalhes de custos de manutenção do sistema biodigestor e motor-gerador, bem como apresentar a comparação entre viabilidade econômica de biodigestores de dejetos de outros animais, como bovinos de corte e de leite. Pode-se também verificar em publicações futuras a comparação entre diversas taxas de juros do mercado financeiro bem como realizar estudos em potências de geração maiores, como minigeração de energia (acima de 75 kW), onde podem ser avaliados os impactos das tarifas horárias verde e azul, bem como tarifas de ponta e fora-de-ponta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASI, T.; Tauseef, S.; Abbasi, S. *Biogas Energy*. 1. ed. New York: Springer, 2012. 169 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Bandeiras tarifárias: Relatório do Acionamento. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/22443212/Relat%C3%B3rio+do+Acionamento+das+Bandeiras+Tarif%C3%A1rias+-+julho-2021.pdf/df1d9d4b-11e9-5f98-0399-7a69ce2e6912>. Acesso em: 05 jul 2021

AVACI, Angelica B. et al. Avaliação econômico-financeira da microgeração de energia elétrica proveniente de biogás da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 17, p. 456-462, 2013. DOI: 10.1590/S1415-43662013000400015.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Taxas de juros básicas – Histórico. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>. Acesso em: 05 jul 2021.

BORGES, C. P. et al. A systems modeling approach to estimate biogas potential from biomass sources in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 138, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120308030>. Acesso em: 09 Jul 2021.



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**, v. 30, n. 5, p. 831-844. 2010. DOI: 10.1590/S0100-69162010000500006.

CHEN, Y. R. Kinetic analysis of anaerobic digestion of pig manure and its design implications. **Agricultural Wastes**, v. 8, n. 2, p. 65-81, 1983.

COLDEBELLA et al. Viabilidade da geração de energia através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Informe Gepec**, v. 12, n. 2, p. 44-55, 2008. DOI: 10.48075/igepec.v12i2.2186.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ. Taxas e Tarifas. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://servicosonline.cpfl.com.br/agencia-webapp/#/taxas-tarifas>. Acesso em: 05 jul 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Qualidade da carne brasileira. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/qualidade-da-carne>. Acesso em 13 mar 2021.

GARCÍA-GONZÁLEZ, M. et al. Positive impact of biogas chain on ghg reduction. Improving Biogas Production. **Biofuel and Biorefinery Technologies**, Springer, v. 9, p.217–242, 2019.

JIANG, Y. et al. The potential role of waste biomass in the future urban electricity system. **Biomass and Bioenergy**, v. 107, p. 182–190, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953417303173>. Acesso em: 07 Jul 2021.

MARTINS, F. M. e Oliveira, P. A. V. Análise Econômica da Geração de Energia Elétrica a Partir do Biogás na Suinocultura, **Eng. Agrícola Jaboticabal**, v: 31, p. 477-486, 2011. DOI: 10.1590/S0100-69162011000300008.

MITO, Jessica Y. L. et al. *Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil*. Concórdia, SC: **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Embrapa Suínos e Aves**, 2018. 52 p.

SOUZA, J.; Souza, S. N. M.; Machado, P. R. M. Desempenho de um motor ciclo otto utilizando biogás como combustível. **Enc. Energ. Meio Rural**, 2004.

TREICHEL, Helen Fongaro, G. *Improving Biogas Production Technological Challenges, Alternative Sources, Future Developments*. v. 9. Gewerbestrasse, Switzerland: **Springer Nature**, 2012. 304 p.