SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA AMBIENTAL, BIOCOMBUSTÍVEIS E MARKETING
Fatec Jaboticabal Nilo De Stéfani
EDIÇÃO 2020 – RESUMO EXPANDIDO – TRABALHO CIENTÍFICO

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE BIODIGESTÃO PARA RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE ROSANA

ECONOMIC FEASIBILITY ANALYSIS OF A BIODIGESTION SYSTEM FOR MUNICIPAL SOLID WASTE IN THE MUNICIPALITY OF ROSANA

Sabrina Emília de Almeida Pavez[I]
Claudia Gonçalves de Azevedo[II]

RESUMO

O aumento dos resíduos sólidos urbanos está diretamente relacionado ao desenvolvimento de um país e a destinação correta de tais resíduos tem gerado discussões relevantes no âmbito acadêmico e industrial. O tratamento biológico, por meio de biodigestores é uma das rotas tecnológicas que vem sendo estudadas para o aproveitamento dessa matéria orgânica. No processo de biodigestão, é possível obter dois produtos, o biogás e o biofertilizante. O biogás pode ser utilizado para a geração de energia e o biofertilizante torna-se adubo orgânico. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho é projetar um sistema de biodigestão para tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos no município de Rosana, bem como realizar o estudo da viabilidade econômica para implantação do sistema proposto. A partir dos resultados obtidos na análise econômica verificou-se que a implantação do sistema de biodigestão é viável no município de Rosana, gerando uma receita de aproximadamente R$ 106.995,00/ano com a venda de energia gerada e R$ 80.006,40/ano com a venda do biofertilizante. Além disso, a análise econômica também demonstrou a viabilidade do projeto, sendo o Valor Presente Líquido obtido de R$ 142.165,86, a Taxa Interna de Retorno de 20% e o *Payback* de 4,42 anos. Desse modo verificou-se que o sistema de biodigestão proposto é economicamente atrativo para o município de Rosana.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos. Biodigestão. Geração de Energia. Análise Econômica.

ABSTRACT

The increase in solid urban waste is directly related to the development of a country and the correct destination of such waste has generated relevant discussions in the academic and industrial field. Biological treatment, through biodigesters is one of the main technological paths that have been studied for the sustainable reutilization of this organic matter. In the biodigestion process, it is possible to obtain two products: biogas and biofertilizer. Biogas can be used for energy generation while the biofertilizer becomes organic fertilizer. Therefore, the objective of the present work it is to design a biodigestion system for the treatment of Urban Solid Waste in the municipality of Rosana, as well as to carry out the economic feasibility

[I] Estudante do curso superior de Engenharia de Energia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita (UNESP) Campus Experimental de Rosana – Rosana – Brasil. E-mail: sabrina.pavez@unesp.br
[2] Profa. Pós-Dra. da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita (UNESP) Campus Experimental de Rosana – Rosana – Brasil. E-mail: claudia.azevedo@unesp.br

SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA AMBIENTAL, BIOCOMBUSTÍVEIS E MARKETING
Fatec Jaboticabal Nilo De Stéfani
EDIÇÃO 2020 – RESUMO EXPANDIDO – TRABALHO CIENTÍFICO

study for the implementation of the proposed system. From the obtained results in the economic analysis, it was verified that the implementation of the biodigestion system is feasible in the municipality of Rosana, generating revenue of approximately R$ 106,995.00/year from the sale of generated energy and R$ 80,006.40/year with the sale of biofertilizer. In addition, the economic analysis also recognizes the feasibility of the project, with a Net Present Value obtained of R$ 142,165.86, an Internal Rate of Return of 20% and a Payback of 4.42 years. Thus, it was found that the biodigestion system is economically attractive to the municipality of Rosana.

Keywords: Urban Solid Waste. Biodigestion. Power generation. Economic analysis.

Área do resumo: Engenharias, tecnologias e gestão
Data de submissão: 24/10/2020
Data de aprovação: 30/10/2020.

1 INTRODUÇÃO

Em virtude da grande quantidade de resíduos gerados, bem como a destinação inadequada dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), o gerenciamento de tais resíduos se tornou um grande problema para as administrações municipais uma vez que é necessária uma grande área para o seu armazenamento, além de causar danos ambientais, tais como contaminação do solo e da água, além da ocorrência da liberação de gases que contribuem com o efeito estufa (GOUVEIA, 2012). Uma alternativa tecnológica capaz de minimizar ou evitar eventuais problemas relacionados à má gestão dos resíduos sólidos é o aproveitamento energético de tais recursos.

Dentre as técnicas biológicas utilizadas para o aproveitamento energético dos RSU, têm destaque o processo de biodigestão anaeróbica. A digestão anaeróbia é um processo em que ocorre a degradação da matéria orgânica a partir de microrganismos, na ausência de oxigênio, gerando como produto um gás combustível, o biogás, e subprodutos que podem ser aplicados como fertilizantes orgânicos. (VAN HAANDEL, LETTINGA, 1994; CHERNICHARO, 2007). A proposta de implantação de uma unidade de biodigestão anaeróbica fornece uma alternativa viável e interessante para a utilização de resíduos sólidos, uma vez que permite a obtenção do biogás, um gás combustível que possui poder calorífico semelhante ao gás natural, podendo assim ser utilizado para geração de energia elétrica, térmica e mecânica.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo projetar um sistema de sistema de biodigestão para Resíduos Sólidos Urbano no município de Rosana, além de realizar o estudo da viabilidade econômica para implantação do sistema proposto. A implantação do sistema tem como objetivo reduzir a quantidade destes resíduos no descarte final no aterro sanitário do município, produzindo um combustível alternativo que pode ser utilizado para a geração de energia térmica, elétrica ou mecânica.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), criada pela Lei nº 12.305, de 2010 e regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 2010, criou como um dos seus principais

SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA AMBIENTAL, BIOCOMBUSTÍVEIS E MARKETING
Fatec Jaboticabal Nilo De Stéfani
EDIÇÃO 2020 – RESUMO EXPANDIDO – TRABALHO CIENTÍFICO

instrumentos o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. A PNRS apresenta as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (Ministério do Meio Ambiente, 2012), sendo os principais objetos da lei os resíduos sólidos (RS) e os rejeitos. A Lei 12.305/2010 estabelece que os governos estaduais devem elaborar o Plano Estadual de Resíduos Sólidos, de modo a estabelecer e, criar diretrizes e metas gerais relacionadas a gestão dos RSU dos municípios pertencentes ao estado. A PNRS estabelece que um município que com interesse turístico, mesmo aqueles que possuam menos de 20.000 habitantes, devem elaborar um plano de gestão integrada de resíduos sólidos completo, como é o caso do Município de Rosana.

Dentre as principais tecnologias disponíveis para o tratamento de resíduos orgânicos, a biodigestão anaeróbica tem se mostrado bastante eficiente, pois além de produzir um biocombustível (biogás), permite ainda diminuir impactos ambientais referentes a contaminação do solo dentre outros, bem como a produção de fertilizante. De modo geral, o termo biogás se refere à mistura gasosa produzida durante a biodegradação anaeróbia da matéria orgânica através do processo de biodigestão (LASTELLA *et al*., 2002). A composição do biogás varia de acordo com diversos parâmetros, dentre os quais tipo de material que será biodegradado. De acordo com SOUZA (2010), o biogás é composto basicamente de 60% a 80% de metano (CH_4), 20% a 40% de dióxido de carbono (CO_2), além de apresentar sulfetos, nitrogênio, monóxido de carbono e hidrogênio em menores concentrações.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos são apresentados nas subseções a seguir.

3.1 Dimensionamento do sistema de biodigestão

O modelo de biodigestor escolhido para compor o sistema de biodigestão proposto foi o modelo canadense. Para a determinação das principais dimensões do biodigestor utilizou-se o modelo matemático desenvolvido por RIBEIRO (2011) que exige que sejam fornecidos parâmetros iniciais, tais como, raio da campana (r), comprimento (L) e a proporção de fase gasosa (p), que deve ser menor que 40%, uma vez que acima desse valor o volume da fase líquida não permite a manutenção da campana cheia de biogás.

De acordo com *Intergovernamental Panel on Climate Change* – IPCC (2006), a determinação da emissão anual de CH_4, para cada país ou região, pode ser calculada por $Q_{CH_4} = \left[\left(RSU_{REC} \cdot FCM \cdot COD \cdot COD_f \cdot F \cdot 16/12\right) - R\right] \cdot \left(1 - OX\right)$, sendo Q_{CH_4} a vazão de metano gerado (10^3 kgCH_4/ano), RSU_{REC} a quantidade de resíduos sólidos recebidos no aterro (10^3 kg/ano), FCM o fator de correção de metano (adimensional), COD o carbono orgânico degradável no resíduo sólido domiciliar (adimensional), COD_f a fração de COD que realmente degrada (adimensional), F a fração de CH_4 no gás de aterro (adimensional), $16/12$ a taxa de conversão de carbono em metano (adimensional), R a quantidade de metano recuperado (10^3 kgCH_4 /ano) e OX o fator de oxidação (adimensional). O potencial de energia elétrica gerada a partir do biogás pode ser determinado por $P_x = Q_x \cdot \eta \cdot PCI_D$, sendo P_x a energia elétrica disponível

SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA AMBIENTAL, BIOCOMBUSTÍVEIS E MARKETING | Fatec Jaboticabal Nilo De Stéfani
EDIÇÃO 2020 – RESUMO EXPANDIDO – TRABALHO CIENTÍFICO

(kWh/dia), Q_x a vazão média diária de biogás gerado (m^3/dia), η a eficiência elétrica de conversão (%), PCI_D o Poder calorífico inferior disponível (kWh/m^3), dado por $PCI_D = \gamma_{CH_4} \cdot PCI_{CH_4} \cdot k$, sendo PCI_D o poder calorífico inferior disponível (kWh/m^3), γ_{CH_4} o peso específico do metano (kg/m^3), PCI_{CH_4} o poder calorífico inferior do metano (kcal/kg) e k o fator de conversão de kcal em kWh (4,19/3600).

3.2 Análise econômica para viabilidade da implantação do sistema de biodigestão

Para realizar a análise da viabilidade econômica de investimentos foram adotados os métodos do Valor Presente Líquido, $VPL = I + \sum_{t=1}^{n} FC_t \big/ (1+TMA)^t$, sendo VPL o valor presente líquido, I o investimento de capital na data zero, FC_t o retorno na data *t* do fluxo de caixa, *n* o prazo de análise do projeto e TMA a Taxa Mínima de Atratividade para realizar o investimento, ou custo de capital do projeto de investimento, o método da Taxa Interna de Retorno $0 = I + \sum_{t=1}^{n} FC_t \big/ (1+TIR)^t$ e o método do tempo de retorno do capital ou *payback,* $PB = Investimentoinicial \big/ \sum FC_{ano}$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados e as discussões são apresentados nas subseções a seguir.

4.1 Obtenção dos dados dos resíduos sólidos urbanos

Através das pesagens realizadas pela Secretaria do Meio Ambiente, para esse total de habitantes, obtém-se a quantidade de 9,003 toneladas de resíduos e rejeitos por dia. Considerando que apenas 51,4 % da quantidade total de resíduos compõe a fração orgânica, tem-se 138,82 t/mês de resíduos orgânicos. Para os cálculos, foi considerado que a coleta dos resíduos sólidos urbanos acontece diariamente, trinta dias por mês. Os dados obtidos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados dos resíduos sólidos urbanos

População (2019)	Resíduo Coletado (t/mês)	Geração RSU orgânico (t/mês) (51,4%)	Geração RSU orgânico (t/d)	Geração RSU Orgânico (m³/mês)
16.643	270,10	138, 82	4,63	198,323

Fonte: os autores (2020)

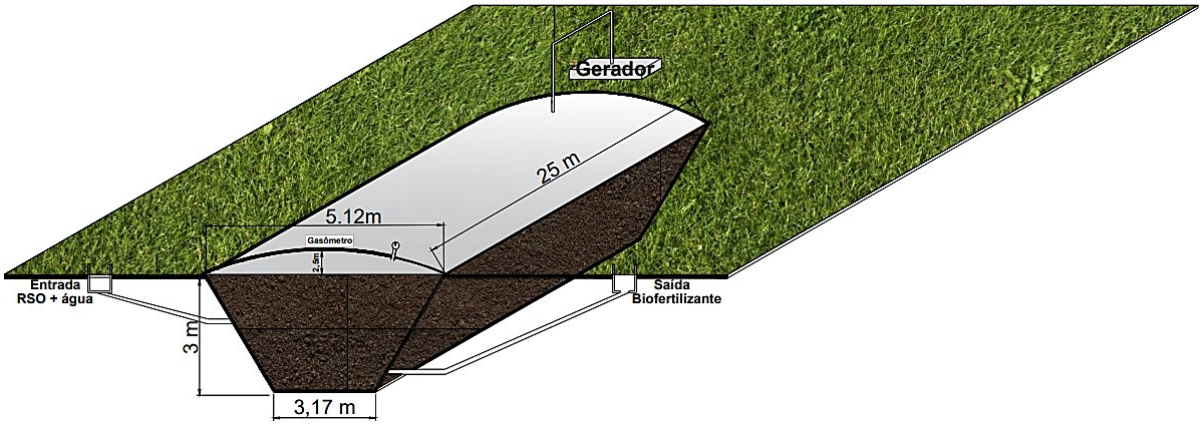
4.2 Projeto do sistema de biodigestão anaeróbica

Inicialmente foi estimado o volume do biodigestor considerando a carga diária de 13,22 m³/dia, uma vez que o material orgânico foi misturado com água na proporção 1:1, e um tempo de retenção hidráulico de 35 dias. O volume estimado do biodigestor foi de 462,7

SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA AMBIENTAL, BIOCOMBUSTÍVEIS E MARKETING
Fatec Jaboticabal Nilo De Stéfani
EDIÇÃO 2020 – RESUMO EXPANDIDO – TRABALHO CIENTÍFICO

m^3, e servirá de base para comparar o cálculo do dimensionamento do biodigestor. Os parâmetros iniciais adotados para a determinação do volume do biodigestor foram: valor da proporção da fase gasosa p = 30%, de modo a evitar que a campana encoste nos resíduos contidos na fossa, valor do raio da campana $r = 2{,}5$ m, escolhido de modo que não ultrapasse a altura da fossa, e comprimento $L = 25$ m, a fim de atender as especificações do biodigestor. A partir das equações apresentadas por Ribeiro (2011) foi possível determinar as dimensões do biodigestor de modo a obter um volume do biodigestor próximo a valor estimado. A Figura 1 mostra o desenho esquemático do biodigestor proposto com as principias dimensões.

Figura 1 - Representação do biodigestor dimensionado



Fonte: própria autora (2020)

Conhecidos todos os parâmetros, bem como a quantidade de quantidade de resíduos sólidos recebidos no aterro (t/ano), tem-se que a quantidade de metano gerado será 65,97 t/ano, de modo que a vazão média diária de biogás gerado é de 255,43 m^3/dia. Considerando-se o poder calorífico inferior do CH_4 igual a 3.281,92 kcal/kg para uma concentração de 50% de CH_4 no biogás, tem-se que o poder calorífico inferior disponível será 5,11 kW/m^3. Para uma eficiência elétrica de conversão igual a 0,34, a energia gerada a partir da utilização do biogás produzido será 443,60 kW/dia.

4.3 Análise de viabilidade econômica do sistema de biodigestão anaeróbica

A Tabela 2 apresenta os custos fixos e variáveis para o sistema proposto e a Tabela 3 apresenta a receita gerada no projeto que será proveniente da venda da energia elétrica e da venda do biofertilizante. O valor da receita será estimado para um período de 10 anos. A alíquota atribuída a esse empreendimento pode ser de até 11,2% uma vez que a receita não ultrapassa o valor o limite de R$ 720.000,01 até 1.800.000,00, e o valor a ser deduzido é de R$ 22.500,00. Uma vez que o faturamento do empreendimento não ultrapassa o valor de R$ 4,8 milhões não será cobrado o valor de ICMS. As despesas com depreciação dos equipamentos para o período de 10 anos serão de R$10.160,33.

Tabela 2 – Custos fixos e variáveis para o sistema de biodigestão proposto

Tipo	Valor (R$)
Custo com Materiais para operação do sistema	14.556,7
Custo com Equipamentos necessários para a construção do biodigestor	2041, 789
Custo com Equipamentos necessários para o funcionamento do sistema	99.777,42
Custos com construção e adequações para o sistema	12.925, 00
Custo estimado das licenças ambientais para o sistema	11.900, 00
Custos anual com o consumo de energia para o sistema	24.338, 60
Custos anual com EPIs para o sistema	1.669, 90
Custos variáveis anuais (despesas) para o sistema	67.828,38
Custos fixos anuais com funcionários para o sistema	68.513,00

Fonte: os autores (2020)

Para a determinação do fluxo financeiro considera-se a receita bruta, que é a receita de venda da energia elétrica e do biofertilizante para cada ano e deduz-se o valor do imposto de modo a se obter a receita líquida. Ao valor da receita líquida subtraem-se os custos fixos, variáveis e de depreciação de modo a se obter o lucro líquido do sistema proposto, equivalente a R$ 27.251,21. Na avaliação econômica realizada a partir da análise do fluxo de caixa considerando a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 5,76% obtém-se a TIR igual a 18%, superior a TMA de 5,76%, o que indica que o projeto é viável. O Valor Líquido Presente obtido para o sistema proposto foi de R$ 102.893,29, mostrando que o projeto é economicamente rentável e exequível. O Tempo de Retorno de Investimento ou *Payback* obtido foi positivo, demonstrando que para o investimento do projeto será possível obter retorno em aproximadamente 4,42 anos.

Tabela 3 – Receita gerada para o sistema de biodigestão proposto

Tipo	Receita de venda anual (R$)
Receita gerada a partir da venda do biofertiliziante	800.064,00
Receita gerada a partir da venda de energia	R$ 1.069.955,0

Fonte: os autores (2020)

5 CONCLUSÃO

Para o sistema de biodigestão proposto, considerando a quantidade de resíduos sólidos orgânicos gerados no município, serão produzidos anualmente 91.955,13 m³ de metano (CH_4), o que corresponde a uma vazão de 10,64 m³/h, gerando uma potência de aproximadamente 443,60 kWh/dia. Considerando que toda a energia elétrica obtida a partir da utilização do biogás será comercializada, a receita gerada pela venda da energia será de R$ 106.995,50/ano. Considerando que 80% do resíduo gerado no processo de biodigestão será efetivamente transformado em biofertilizante, tem-se que a receita gerada a partir de sua venda será de R$ 80.006,40/ano. A partir da análise econômica, verificou-se que a Taxa Interna de Retorno (TIR) foi 18%, valor este superior a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 5,76%, indicando que o projeto proposto é viável. O Valor Líquido Presente (VPL) obtido foi de R$ 102.893,29, sendo este valor atrativo para a implantação do projeto. O valor

Payback obtido para o projeto é de 4,42 anos, valor este considerado razoável para um empreendimento. Desse modo, conclui-se que o sistema de biodigestão proposto é um projeto viável, exequível e economicamente atrativo para o município.

REFERÊNCIAS

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2. ed. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2007.380p.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1503-1510, 2012.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 2006 IPCC **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. v.5: Waste. Hayama: IGES, 2006

SOUZA, O.; FEDERIZZI, M.; COELHO, B.; WAGNER, T.M.; WISBECK, E. Biodegradação de resíduos lignocelulósicos gerados na bananicultura e sua valorização para a produção de biogás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.4, p.438–443, 2010.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento Anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Epigraf, Paraíba, 1994.