

II-388 - GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS PRODUZIDO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE MADRE DE DEUS - BA

Neila Santana

Administradora de Empresas (UCSAL). Mestre em Tecnologias Aplicáveis à Bioenergia (FTC).

Eduardo Cohim

Engenheiro Sanitarista pela UFBA - Universidade Federal da Bahia; Engenheiro de Irrigação, UFBA/FAMESF; Mestre em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo – Ênfase em Produção Limpa – UFBA; Doutor em Energia e Meio Ambiente, UFBA.

Endereço: Av. Araújo Pinho, 215, apto. 602 – Canela. CEP 40.110-150. Salvador-BA. E-mail: edcohim@gmail.com.

RESUMO

O presente trabalho tem por finalidade avaliar a viabilidade econômica de aproveitamento do potencial energético do biogás produzido na ETE de Madre de Deus para a geração de energia elétrica. Os resultados revelaram que a probabilidade de 50% o potencial elétrico gerado por 461m³/dia de biogás na ETE de Madre de Deus equivale a aproximadamente 37 KW. O tempo de recuperação do capital ou *payback* será atingido em 2,3 anos, viável para o tempo de vida útil do equipamento de quatro anos. A relação B/C para o valor presente encontrado é igual a 3,55 e a TIR de 61,7% ao ano supera a taxa de juros praticada de 12%. Logo, comprova-se a viabilidade econômica do investimento para todos os indicadores analisados.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, Eficiência Energética, Saneamento.

INTRODUÇÃO

No contexto histórico a energia sempre atuou como fator preponderante no desenvolvimento das civilizações. O consumo negligente dos recursos naturais ocasionado, sobretudo, pela busca por fontes energéticas capazes de sustentar o estilo de vida emergente desencadeou um processo de degradação ambiental, intensificado pelo uso de combustíveis fósseis, principais responsáveis pelas emissões de gases causadores do efeito estufa (DIAS, 2007). Além disso, a perspectiva de desabastecimento e instabilidade nos preços do petróleo reforçaram a necessidade de substituição das fontes de carbono por energia alternativa, de forma limpa e sustentável.

Nesse contexto, o biogás apresenta-se como alternativa energética de baixo custo para o País por se tratar de subproduto liberado na decomposição da matéria orgânica oriunda de biomassa. Lançado na atmosfera sem tratamento adequado, o biogás agrava o efeito estufa já que, segundo Polprasert (2007), a concentração de CH₄ representa 55% a 75% do composto. Comparativamente ao CO₂, o CH₄ possui potencial poluidor 21 vezes maior. Todavia, é a predominância do metano que confere ao biogás poder calorífico destacando-o como uma fonte limpa e renovável, alternativa ao consumo de combustíveis fósseis.

Com o crescimento dos grandes centros urbanos os recursos naturais, sobretudo a água, passaram a ser consumidos de forma insustentável. Outro agravante diz respeito à poluição hídrica e do solo que, combinada aos atuais padrões de consumo intensifica os problemas relativos à saúde pública (COHIM et al., 2009). Os autores entendem que a sustentabilidade das cidades é o primeiro passo para a construção da sustentabilidade global, equilibrando as questões ambientais urbanas.

A energia elétrica é insumo precípuo às atividades do setor de saneamento, permitindo a captação da água na fonte e transporte às estações de tratamento, distribuição aos pontos de consumo, coleta do esgoto, tratamento e disposição final em corpos receptores (COHIM et al., 2009). Segundo Gomes, 2005, os equipamentos motor-bomba absorvem cerca de 90% da energia elétrica utilizada nos sistemas de saneamento.

Uma possível utilização do biogás está na obtenção de energia elétrica. Apenas o setor de saneamento, em 2007, foi responsável por 2% do total da eletricidade consumida no país, representando no segmento o segundo item de despesas, superada, apenas, pelas despesas com pessoal (SNIS, 2009). A produção de energia

elétrica a partir do biogás produzido nas estações de tratamento contribuiria com a melhoria do balanço energético dos sistemas de esgotamento sanitário.

OBJETIVO

O presente trabalho objetivou avaliar a viabilidade econômica de aproveitamento do potencial energético do biogás produzido na ETE de Madre de Deus-BA para a geração de energia elétrica.

METODOLOGIA

tratamento de esgotos do Município, com vazão de 3.954 m³/dia, cuja população prevista para o final da vida útil do projeto relativo ao serviço de esgotamento sanitário é de 28.932 habitantes. O sistema de tratamento está projetado para funcionar em reatores anaeróbios de fluxo ascendente tipo UASB servidos por tratamento aeróbio em lodo ativado e desinfecção com ultravioleta antes do lançamento no mar.

Calculo da produção de biogás

Para determinar o potencial de produção do biogás na ETE de Madre de Deus estimou-se a quantidade de DQO removida pelo reator convertida em CH₄ (DQO_{CH₄}), aplicando a Equação 1.

$$DQO_{CH_4} = Q \times (S_0 - S) - Y_{obs} \times Q \times S_0 \quad \text{equação (1)}$$

Sendo:

Q = vazão de esgoto afluente (m³)

S₀ = DQO afluente (kgDQO/m³)

S = DQO efluente (kgDQO/m³)

Y_{obs} = coeficiente de produção de sólidos no sistema, em termos de DQO (0,11 a 0,23 kgDQO_{lodo}/kgDQO_{apl})

Obteve-se o valor de S em função da eficiência de remoção do reator (E) por meio da Equação 2.

$$S = (1 - E) \times S_0 \quad \text{equação (2)}$$

Durante o processo, parte da DQO é absorvida na sintetização celular promovendo o aumento da biomassa (lodo), cujo valor é representado pela expressão Y_{obs} x Q x S₀. A partir do resultado obtido é possível calcular o volume de CH₄ produzido aplicando a Equação 3:

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{K(t)} \quad \text{equação (3)}$$

Sendo:

Q_{CH₄} = produção volumétrica de metano (m³/dia)

K (t) = fator de correção para a temperatura operacional do reator (kgDQO/m³), onde:

$$K_t = \frac{P \times K}{R \times (273 + t)} \quad \text{equação (4)}$$

Sendo:

P = pressão atmosférica (1 atm)

K = DQO correspondente a 1 mol de CH₄ (64 gDQO/mol)

R = Constante dos gases (0,08206 atm.L/mol. °K)

t = temperatura operacional do reator (°C)

Souza et.al (2009) observaram que parte significativa do metano produzido no reator poderá ser perdida solubilizada no efluente, reduzindo o potencial energético do biogás. Dessa forma, o cálculo do potencial de produção do biogás (Q_{biogás}) deverá considerar tal perda, por meio da Equação 5:

$$Q_{CH_4\text{líquido}} = (1 - \% CH_{4\text{dissolvido}}) \times Q_{CH_4} \quad \text{equação (5)}$$

Logo, obtém-se o potencial de produção do biogás por meio da Equação 6:

$$Q_{\text{biogás}} = Q_{CH_4\text{líquido}} \times \% CH_{4\text{biogás}} \quad \text{equação (6)}$$

Calculo do potencial elétrico do biogás

Para calcular o potencial elétrico do biogás a partir da quantidade de esgoto tratado por dia, foi aplicada a Equação 7, a seguir.

$$PE = \frac{Q_{\text{biogás}} \times PCI_{\text{biogás}} \times \eta_{\text{gerador}} \times 4,1868}{86.400} \quad \text{equação (7)}$$

Sendo:

PE = potência elétrica (KW)

$Q_{\text{biogás}}$ = vazão (produção média) do biogás (m³/dia)

$PCI_{\text{biogás}}$ = poder calorífico do biogás (kcal/m³)

η_{gerador} = 30%, baseado no valor médio das tecnologias de conversão

4,1868 = fator de conversão de “kcal” (quilo caloria) para “kJ” (quilo joule), onde 1 KJ/s corresponde a 1 MW.

Os valores de entrada para cálculo da produção de biogás variam em razão de uma série de fatores, por conseguinte, são usualmente expressos em parâmetros máximos e mínimos, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Variáveis de Entrada para o Cálculo da Produção de Biogás.

VARIÁVEIS	UNIDADE	MÍNIMO	MÁXIMO
Q	m³/d	3.560	5.140
S ₀	g/m³	376	1.300
E	%	40	75
Y _{obs}	mg/L	0,11	0,23
t	°C	20	27
% CH ₄ dissolvido	%	36,9	44,8
% CH ₄ biogás	%	65	75
PCI _{biogás}	kcal/kg	4.831,14	6.253,01

Em virtude do caráter aleatório das variáveis de entrada optou-se pela utilização do Método de Monte Carlo, o que permitiu estimar valores medianos para as probabilidades. O cálculo resulta na geração de *N* cenários para os valores de entrada, de forma aleatória, permitindo a obtenção de um intervalo de resultados cuja confiabilidade está em proporção direta à quantidade de cenários analisados. Neste trabalho foi considerada a potência de geração mediana à probabilidade de 50%.

Equipamento de conversão

Para conversão do biogás em energia elétrica foi selecionado um grupo gerador a biogás com potência contínua de 62KW, buscando o atendimento de 80% da potência prevista.

Para o funcionamento adequado do motor é indispensável o que o biogás contenha pelo menos 65% de metano na sua composição. O efeito corrosivo do H₂S será reduzido por meio de filtro fornecido pelo fabricante o qual, além de diminuir a concentração do gás sulfídrico, propiciará a retenção de eventuais partículas presentes no biogás, preservando o funcionamento do gerador. O transporte do biogás produzido no digestor até o gerador é feito por compressor radial de 1CV, fornecido pelo fabricante.

O investimento com a aquisição de equipamentos, materiais e serviços necessários à implantação do gerador corresponde a R\$ 159.282,50, conforme detalhado na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2: Custo de Implantação do Grupo Gerador Fockink - 62KW.

EQUIPAMENTOS E OUTROS	CUSTO (R\$)
Investimento total	94 250,00
Grupo Gerador Fockink a Biogás - Modelo SG-75B	78.250,00
Isolamento térmico do escapamento	3.000,00
Tubulação para biogás desde o biodigestor até o grupo gerador	3.000,00
Obras Cíveis e Construções (12m²)	5.000,00
Instalação elétrica da rede da concessionária até o painel	1.500,00
Frete	1.500,00
Margem de incerteza (30% do investimento total)	28.275,00
BDI – Benefícios e Despesas Indiretas (30% do total geral)	36.757,50
Total capital investido	159.282,50

Já o custo anual com operação e manutenção do equipamento corresponde a R\$ 41.765,88, conforme detalhado na Tabela 3. Houve acréscimo de 20% no custo final com manutenção como margem de incerteza, para correção de eventuais distorções nos valores orçados.

Tabela 3: Custos de Operação e Manutenção - O&M.

COMPONENTES	INTERVALO (h)	QUANT. (unid.)	VALOR UNIT. (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)	CUSTO (R\$)
Custo com manutenção periódica					8.124,90
Troca de velas	300	6	13,00	78,00	2.277,60
Troca de cabos de velas	1.000	6	20,00	120,00	1.051,20
Troca de óleo	400	18	9,50	171,00	3.744,90
Troca do filtro de óleo	400	1	48,00	48,00	1.051,20
Custo com manutenção de longo prazo					7.117,50
Reforma do motor	8.000	1	6.500,00	6.500,00	7.117,50
Troca do gerador	32.000	1			19.562,50
Margem de incerteza (20% do total com O&M)					6.960,98
Custo total com manutenção					41.765,88

Estudo de viabilidade econômica

As variáveis consideradas para a demonstração de viabilidade econômica são o Tempo de Retorno do Capital (TRC) descontado, a Relação Benefício/Custo (B/C) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Pela metodologia de engenharia econômica aplicada por Gomes (2005) foram calculados os indicadores que subsidiarão a análise.

O TRC ou *payback* descontado determina o tempo de recuperação do investimento, o que ocorre quando o montante investido torna-se igual ao Valor Presente Líquido (VPL). Em um investimento atrativo o tempo de vida útil do projeto deverá ser maior do que o tempo de retorno do capital.

O VPL corresponde ao valor dos fluxos de caixa trazidos para a data atual, gerado pelas receitas (benefícios) e despesas (custos) ao longo de sua vida útil. É definido pela equação:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{B'_t}{(1+i)^t} \quad (3.8)$$

Onde **B** corresponde à diferença entre os benefícios e os custos para *n* períodos de tempo e **i** é a taxa de juros corrente ao período *n*.

O negócio é economicamente viável para valores de VPL positivo e inviável se o VPL for negativo. Quando o VPL iguala-se a zero o investimento é considerado indiferente.

A análise B/C representa a razão entre o valor atual dos benefícios e o valor atual dos custos, incluindo o investimento inicial. Utiliza-se o Fator de Valor Presente (FVP) para atualização monetária dos benefícios e dos custos considerando a taxa de juros anual dentro do período definido no fluxo de caixa. A relação B/C é calculada pela equação:

$$BC = \frac{(\text{soma dos benefícios}) \times \text{FVP crescente}}{(\text{soma dos custos}) \times \text{FVP uniforme}} \quad (3.9)$$

Em que o FVP crescente é calculado em função da taxa de crescimento de determinado insumo e o FVP uniforme considera apenas a taxa de juros anual para o período em questão.

A TIR corresponde à taxa de juros que anula o VPL, igualando o valor presente dos benefícios e dos custos. É adequado à análise de projeto cuja viabilidade independa do resultado de outros.

O negócio é viável para valores de TIR maiores que a taxa de juros de referência. Nos casos em que a taxa de juros apresente-se igual ou maior que a TIR, o investimento é considerado indiferente ou inviável, respectivamente.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados deste estudo demonstram o potencial elétrico da ETE de Madre de Deus e permitem comprovar a viabilidade econômica do investimento.

Potencial elétrico do biogás gerado na ETE de Madre de Deus

A partir dos parâmetros máximos e mínimos definidos para cada variável de entrada foram gerados 1.000 cenários aleatórios entre os intervalos, utilizando o *software* Microsoft Excel.

Os resultados estão apresentados na Tabela 07 por distribuição de frequência acumulada, o que permite identificar valores medianos para as probabilidades, onde $1/2$ da distribuição encontra-se acima e $1/2$ encontra-se abaixo da faixa de 50%.

Como mostra a Tabela 08 o potencial elétrico do biogás produzido na ETE de Madre de Deus foi calculado a partir das equações aplicáveis aos dados de entrada, para cada um dos cenários ou “rodadas”, gerando 1.000 resultados aleatórios, distribuídos por frequência acumulada.

Analisando a curva de distribuição da Figura 08, observa-se que a uma probabilidade de 50% o potencial elétrico gerado por 461m³/dia de biogás na ETE de Madre de Deus equivale a aproximadamente 37KW.

Tabela 07 – Variáveis de entrada para o Método de Monte Carlo

Variáveis	Q	S ₀	E	Y _{obs}	t	Q _{CH₄ líquido}	% CH ₄ biogás	PCI biogás
	m ³ /d	g/m ³	%	mg/L	°C	%	%	kcal/kg
Mínimo	3.560	376	40%	0,11	20	35%	65%	4.831,14
Máximo	5.140	1.300	75%	0,23	27	45%	75%	6.253,01
Distribuição acumulada								
10%	3.696,48	470,06	0,44	0,12	20,59	0,36	0,66	4.970,99
20%	3.888,40	565,39	0,47	0,13	21,26	0,37	0,67	5.107,35
30%	4.036,09	677,72	0,50	0,15	21,95	0,38	0,68	5.252,06
40%	4.220,14	772,57	0,54	0,16	22,86	0,39	0,69	5.393,63
50%	4.382,09	862,13	0,57	0,17	23,49	0,40	0,70	5.545,33
60%	4.535,26	949,65	0,60	0,18	24,20	0,41	0,71	5.678,75
70%	4.684,46	1.025,51	0,63	0,19	24,90	0,42	0,72	5.809,58
80%	4.837,78	1.116,03	0,67	0,21	25,58	0,43	0,73	5.978,22
90%	4.987,29	1.212,73	0,71	0,22	26,34	0,44	0,74	6.101,57
100%	5.139,42	1.299,92	0,75	0,23	27,00	0,45	0,75	6.250,63

Fontes: CHERNICHARO, 2007; COSTA, 2006; EMBASA, 2009; GRUPO FOCKINK, 2009; SOUZA, et al., 2009

Tabela 08 – Variáveis de saída pelo Método de Monte Carlo em distribuição de frequência acumulada

Variáveis	S	DQO _{CH₄}	K _t	Q _{CH₄}	Q _{CH₄ líquido}	Q _{biogás}	PE
	g/m ³	Kg/dia	-	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	KW
10%	187,05	729,29	2,61	275,79	169,63	238,80	19,21
20%	230,73	941,11	2,61	359,20	212,91	303,61	24,25
30%	265,93	1121,08	2,62	426,32	249,36	355,89	28,02
40%	305,57	1235,26	2,62	469,73	281,66	404,91	32,45
50%	340,34	1380,53	2,63	527,06	316,88	461,07	37,27
60%	386,56	1556,22	2,64	593,87	359,60	511,62	41,07
70%	436,20	1787,95	2,64	680,21	405,28	577,64	46,31
80%	493,36	2035,65	2,65	770,94	460,57	660,98	53,27
90%	566,15	2375,71	2,66	906,04	541,20	776,57	63,02
100%	752,03	3553,60	2,66	1351,73	833,12	1245,32	109,20

Para o custo do KWh de R\$ 0,36641 a redução da demanda por energia em 37KWh significaria uma economia de R\$ 13,66 por hora ou R\$ 119.627,44 ao ano.

Baseado na população de Madre de Deus atendida com esgotamento sanitário conclui-se que o potencial elétrico gerado por habitante é de 1,3Wh. Se considerada a produção de biogás de todo o esgoto tratado pela Embasa, cuja população total atendida com o serviço é de 2,96 milhões, seria gerado aproximadamente de 4MWh. Em um ano a energia produzida seria de 31.588MWh.

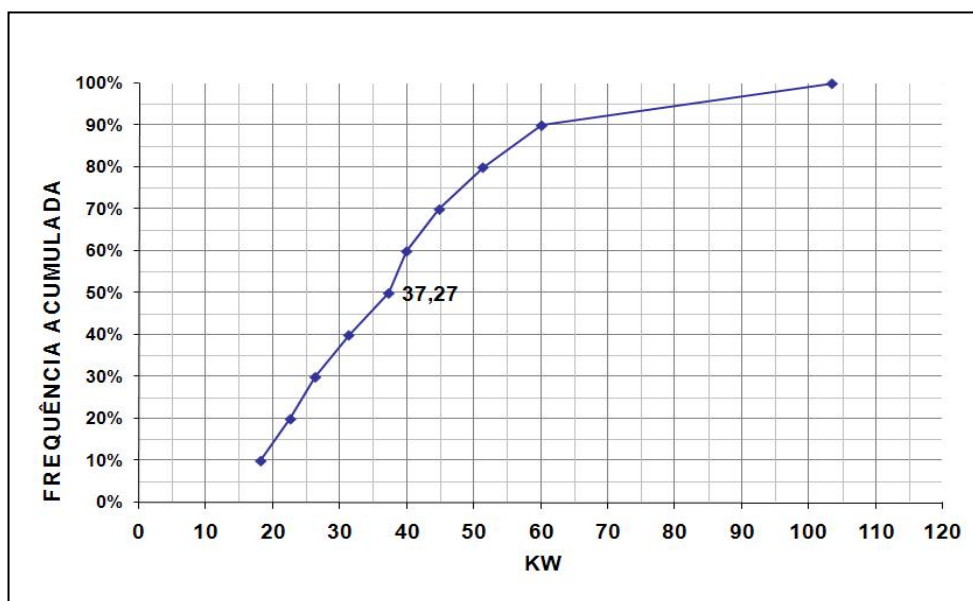


Figura 08 – Gráfico de distribuição do potencial elétrico por frequência acumulada

Admitindo o consumo médio mensal de uma residência com quatro indivíduos em 80KWh, estima-se que a energia elétrica gerada na ETE de Madre de Deus (26.850KWh/mês) seria suficiente para prover, aproximadamente, 335 famílias, enquanto que todo o esgoto tratado pela Embasa (2.596.246KWh) forneceria eletricidade à 32.453 famílias.

É importante salientar que os resultados foram obtidos baseados em equipamentos fabricados preferencialmente para atendimento às atividades desenvolvidas no meio rural, tais como o tratamento de excremento de animais, e que podem ser necessários ajustes para atendimento ao setor de saneamento.

Na Sabesp, por exemplo, o projeto envolvendo as cinco maiores estações de tratamento de esgoto da Grande São Paulo – Barueri, Suzano, ABC, São Miguel Paulista e Parque Novo Mundo – demonstrou que um esgoto com vazão de 37.100m³/dia poderá gerar 2,8MWh. A produção de biogás se todo o esgoto da Grande São

Paulo fosse tratado por digestão anaeróbia equivaleria a 270.212m³/dia, correspondendo a 20.820MWh (COSTA, 2006).

CONCLUSÃO

Com base no estudo realizado, conclui-se que:

- O biogás produzido na ETE de Madre de Deus possui potencial elétrico de 37KW/hora ou 26.850 KW/mês;
- A redução da demanda por energia na ETE de Madre de Deus significaria uma economia de R\$ 119.627,44 ao ano;
- Extrapolando o resultado para todos os esgotos tratados pela Embasa seria possível fornecer eletricidade mensalmente a 32.453 famílias. A economia da empresa com energia elétrica chegaria a 51% ao ano;
- Foi comprovada a viabilidade econômica do projeto para os indicadores analisados;
- O *payback* de 2,3 anos, superior ao tempo de vida útil do equipamento;
- A relação B/C igual a 3,55, viável;
- A TIR correspondente a 61,7% ao ano, maior que a taxa de juros considerada, de 12% ao ano.

A implantação de um projeto sustentável de energia elétrica possibilitará a ampliação do uso de fontes renováveis reduzindo a emissão de gases nocivos à atmosfera. Além disso, a melhoria da eficiência energética no saneamento contribuirá com a universalização do serviço e preservação dos mananciais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Engenheiro Júlio Cesar da Rocha Mota pelas informações cedidas e que possibilitaram a realização deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CERNICHARO, C. A. L.; **Reatores Anaeróbios: princípio de tratamento de águas residuárias**, v. 5. Belo Horizonte: UFMG – DESA, 2007.
2. COHIM et al. Perspectivas futuras: água, energia e nutrientes. In: GONÇALVES, Ricardo Francis (coordenador). **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. Vitória, ES: ABES, 2009.
3. COSTA, David Freire da, **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto**. 2006. 194f. Dissertação (Mestrado em Energia), PIPGE/USP, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/biogas/docs/artigos_dissertacoes/costa.pdf>. Acesso em: 13 Maio 2009.
4. DIAS, Reinaldo. **Gestão Ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**. 1.ed. São Paulo: Atlas, 2007.
5. GOMES, Herber Pimentel. **Eficiência Hidráulica e Energética em Saneamento: Análise econômica de projetos**. Rio de Janeiro: ABES, 2005.
6. POLPRASERT, Chongrak. **Organic Waste Recycling: Technology and Management**. 3rd Edition. London: IWA Publishing, 2007.
7. SNIS. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2007**. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2009.
8. SOUZA et al. **Determinação de metano dissolvido em efluentes de reatores UASB: identificação da perda de potencial energético e das emissões de gás de efeito estufa**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 2009, Recife. Trabalhos Técnicos. Recife: ABES, 2009.