



## Análise da viabilidade econômica do uso do biogás em aterros sanitários para geração de energia elétrica: aplicação no Aterro Metropolitano Santa Tecla na busca da sustentabilidade

**Emerson Vanzin<sup>1</sup>, Marcele Salles Martins<sup>2</sup>, Laércio Stolfo Maculan<sup>3</sup>,  
José W. Jiménez Rojas<sup>4</sup>, Juliano Cavalcanti<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Mestre em Engenharia / Universidade de Passo Fundo ([emerson.vanzin@aes.com.br](mailto:emerson.vanzin@aes.com.br))

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia / Universidade de Passo Fundo  
([marcelesalles@yahoo.com.br](mailto:marcelesalles@yahoo.com.br))

<sup>3</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia / Universidade de Passo Fundo  
([laerciomac@yahoo.com.br](mailto:laerciomac@yahoo.com.br))

<sup>4</sup> Mestre em Engenharia / Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
([jose.rojas@ufrgs.br](mailto:jose.rojas@ufrgs.br))

<sup>5</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia / Universidade de Passo Fundo  
([juliano@upf.br](mailto:juliano@upf.br))

### Resumo

A discussão aborda o uso da energia e o meio ambiente, camada de ozônio e aquecimento global, disposição dos resíduos sólidos, biogás e geração de energia elétrica no Brasil, através de um desenvolvimento sustentável. O objetivo é analisar a viabilidade econômica da geração de energia elétrica, com a utilização do biogás, proveniente da decomposição anaeróbica de resíduos em aterros sanitários e aplicá-lo no Aterro Sanitário Metropolitano Santa Tecla. Primeiramente foi determinado o potencial de geração do gás metano, utilizando o método de inventário das emissões de metano da USEPA (1991), com o “Método Decaimento de Primeira Ordem”, que considera o gás metano emitido por longos períodos de tempo tendo em vista vários fatores que influenciam a taxa de geração do mesmo. Após foi avaliada a capacidade de geração de energia elétrica. Posteriormente, realizou-se a análise do investimento, que incluiu o estudo dos investimentos necessários à instalação de uma usina geradora de energia. Para a análise da viabilidade econômica do investimento, foi calculada a Taxa Interna de Retorno (TIR). Os resultados demonstraram-se viáveis economicamente com uma TIR de 13,76% e um VPL de U\$ 1.322.238,85 para uma taxa mínima de atratividade de 8% a.a, porém com grande sensibilidade a cotação do dólar que para este trabalho estava em R\$ 2,28. A instalação da usina de geração de energia gera uma receita ao proprietário de U\$1.864.061,30 pela compra do biogás. Do ponto de vista econômico, a venda dos créditos de carbono ao mercado internacional contribui para o superávit da balança comercial.

Palavras-chave: gás metano, aterro sanitário, geração de energia elétrica.

Área Temática: Energia

### 1 Introdução

O desenvolvimento econômico e o estilo de vida da sociedade moderna são processos complexos que compartilham um denominador comum: a disponibilidade de



# 1º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 29 a 31 de Outubro de 2008

um abastecimento adequado e confiável de energia. De acordo com Hinrichs e Kleinbach (2003), a energia é um dos principais constituintes da sociedade moderna, indispensável para criar bens a partir de recursos naturais e fornecer muitos dos serviços.

Segundo Ensinas (2003), a disposição final dos resíduos sólidos urbanos é um dos graves problemas ambientais enfrentados pelos grandes centros urbanos em todo o planeta e tende a agravar-se com o aumento do consumo de bens descartáveis. Uma das alternativas de tratamento dos resíduos sólidos são os aterros sanitários, que tem como um dos subprodutos a emissão de gases provenientes da decomposição do material orgânico. Os principais constituintes desses gases são o dióxido de carbono e o gás metano, sendo este último um combustível possível de ser coletado e utilizado para a geração de energia.

Para Lima (1995), os resíduos urbanos passaram a ser considerados uma fonte inesgotável de energia alternativa, pois a sua conversão biológica com fins energéticos vem a cada dia tornando-se mais interessante.

De acordo com a CETESB (1999), a geração de metano em depósitos de resíduos sólidos urbanos no Brasil é de 677 Gg, cuja densidade é de 0,716 kg/m<sup>3</sup>, o que representa 945 milhões de metros cúbicos por ano. Como o metano representa 55% do volume do biogás, têm-se 1.718 milhões de metros cúbicos anuais desse gás, com recuperação típica de 90%, estariam disponíveis 1.546 Mm<sup>3</sup> de biogás para geração de energia elétrica. Multiplicando este valor pelo poder calorífico do biogás, 5.800 kcal/m<sup>3</sup> e o resultado por 4.180 J/kcal, obtém-se 3748122,4 x 1010 Joules, sendo que cada joule corresponde a 1 Watt-segundo. Dividindo este valor pelo número de segundos em uma hora (3.600 s/h) e multiplicando o resultado pela eficiência do motor a combustão interna, normalmente usado neste sistema, na faixa de 20%, encontra-se a energia disponível de 2,1 TWh, que alimentaria uma cidade de 875 mil residências com consumo médio mensal de 200 KWh, o que equivale a uma cidade de aproximadamente 3,5 milhões de habitantes.

Para Ross et al. (1995), o investimento deve ser comparado com uma alternativa relevante disponível no mercado financeiro e se não for atraente é melhor recorrer ao mercado em vez de realizar o projeto.

O primeiro passo na criação do procedimento foi a determinação do potencial de geração do gás metano. Para isso foi utilizado o método de inventário das emissões de metano da USEPA (1991), com o “Método Decaimento de Primeira Ordem”, que considera o gás metano emitido por longos períodos de tempo tendo em vista vários fatores que influenciam a taxa de geração do mesmo. A determinação da emissão anual de CH<sub>4</sub>, para países, regiões ou casos individuais, pode ser calculada pela Equação 1 a seguir:

## 2 Materiais e Métodos

$$Q = L_0 R (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (1)$$

Sendo:

Q: geração de metano no ano (m<sup>3</sup>/ano);

L<sub>0</sub>: potencial de geração de metano dos resíduos (m<sup>3</sup>/t de lixo);

R: média anual de deposição dos resíduos durante a vida útil do aterro (t/ano);

K: constante de decaimento (ano<sup>-1</sup>);

c: tempo desde o fechamento do aterro (anos);

t: tempo desde a abertura do aterro (anos).



Segundo a USEPA (1991), o fator L0 depende da composição dos resíduos e das condições do aterro para o processo de metanização, estando os valores encontrados em bibliografia técnica entre 6,2 e 270 m<sup>3</sup> de metano por tonelada de resíduos para aterros americanos. A constante de decaimento (k) está relacionada com o tempo necessário para a fração de carbono orgânico degradável (COD) do lixo, decair para metade de sua massa inicial, podendo ser obtida por processo iterativo quando são conhecidas as vazões do gás metano do aterro, o valor “L0” e a quantidade e o tempo de deposição do lixo no local.

De posse do potencial de biogás do aterro sanitário, o segundo passo na criação do procedimento foi avaliar a capacidade de geração de energia elétrica.

O terceiro passo foi a análise do investimento, que incluiu o estudo dos investimentos necessários à instalação de uma usina geradora de energia, apresentado na Equação 2, a forma de financiamento, a formação do fluxo de caixa, com receitas e despesas e a análise da viabilidade técnica-econômica do investimento. Para a análise da viabilidade econômica do investimento, foi calculada a Taxa Interna de Retorno (TIR). Essa técnica é utilizada para a avaliação de alternativas de investimento (GITMAN, 2002).

$$Inv.U.G.(milhõesUS\$) = 0,08032049 + 0,9616 * (Pot.MW) \quad (2)$$

Para Souza e Clemente (1995), a TIR “consiste na taxa (i) que iguala o fluxo de entradas com o fluxo de saídas”. No critério de decisão, a TIR é utilizada quando o valor obtido for maior do que o custo de oportunidade, neste caso, o projeto pode ser aceito.

### 3 Resultados

#### 3.1 Aterro Metropolitano Santa Tecla

O Aterro Metropolitano Santa Tecla está localizado na Estrada Henrique Closs, km 6, em Gravataí. Segundo DMLU (2005), até o ano de 1999 a área foi operada como lixão, quando se executaram as obras de remediação e implantação do aterro sanitário de 10 hectares. O aterro é do tipo rampa, com uma zona antiga fechada que contém 570 mil toneladas de resíduos e uma zona ativa mais recente, com capacidade de 2 milhões de toneladas. A profundidade máxima dos resíduos, na área mais antiga, é de, aproximadamente, 25 metros e na área mais recente de 35 a 40 metros.

Atualmente, o aterro opera em ampliação do projeto original com previsão de encerramento para meados de 2006. De acordo com o DMLU, o aterro recebeu até maio de 2005 as quantidades de resíduos sólidos apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Quantidade de resíduos depositados no Aterro Santa Tecla

Ano de operação do aterro	Quantidade (t)
Até 1999	380.000,00
1999	232.671,14
2000	266.632,76
2001	361.812,47
2002	375.787,43
2003	219.532,28
2004	134.746,81
2005 (até maio)	72.025,36
Total	2.043.208,24

Fonte: DMLU (2005).



### 3.1.1 Curva de geração do biogás no aterro

Utilizando o software Landfill Gas Emissions, Version 2.0, inserindo a quantidade média de resíduos sólidos dispostos no aterro sanitário Santa Tecla (Tabela 1), obteve-se a curva de geração de metano ao longo do tempo em anos, sendo os parâmetros  $Lo$  igual a 170 m<sup>3</sup> de metano por tonelada de resíduo e a constante de decaimento  $k$  igual a 0,05 por ano. A Tabela 2 apresenta os parâmetros utilizados para simulação da curva de geração de metano e energia elétrica.

Apenas parte do biogás gerado é recuperada e considerou-se, para este caso, um índice de recuperação de 75%. Portanto, consideram-se apenas os valores de metano possíveis de serem extraídos do aterro.

Tabela 2 – Dada do Aterro Metropolitano Santa Tecla

Parâmetro	Valor
$Lo$ (m <sup>3</sup> /ton)	170
R (ton)	260.000
K (1/ano)	0,05
Ano de fechamento	2006
Ano de abertura	1998
Volume de metano no Biogás (%)	50
Índice de recuperação de metano (%)	75
Eficiência do motor	0,2

### 3.1.2 Curva de geração de energia elétrica

A geração de energia elétrica foi calculada com base na curva de geração de metano do Aterro Metropolitano Santa Tecla, cuja densidade, de acordo com a (CETESB, 1999) é de 0,716 kg/m<sup>3</sup> e o metano representa 50% do volume do biogás com recuperação típica de 75%.

A eficiência do motor para a combustão interna do biogás, normalmente usado neste sistema, está na faixa de 20%, gerando uma curva de produção de energia elétrica conforme a Figura 1.

Observa-se que a curva de geração de energia elétrica é simétrica e proporcional a geração de metano no aterro sanitário. Iniciando com uma potência próxima a 0,5 MW chegando ao máximo de 3,69 MW, no fechamento do aterro e decaindo exponencialmente com o passar dos anos. Porém, para a análise do investimento deve-se definir um valor constante de geração de energia elétrica por um intervalo de tempo determinado. Neste caso, definiu-se o valor de 2 MW para a geração de energia elétrica entre 2006 a 2016, pois a menor capacidade de produção de eletricidade do período acontecerá em 2016, que é de 2,24 MW.



# 1º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 29 a 31 de Outubro de 2008

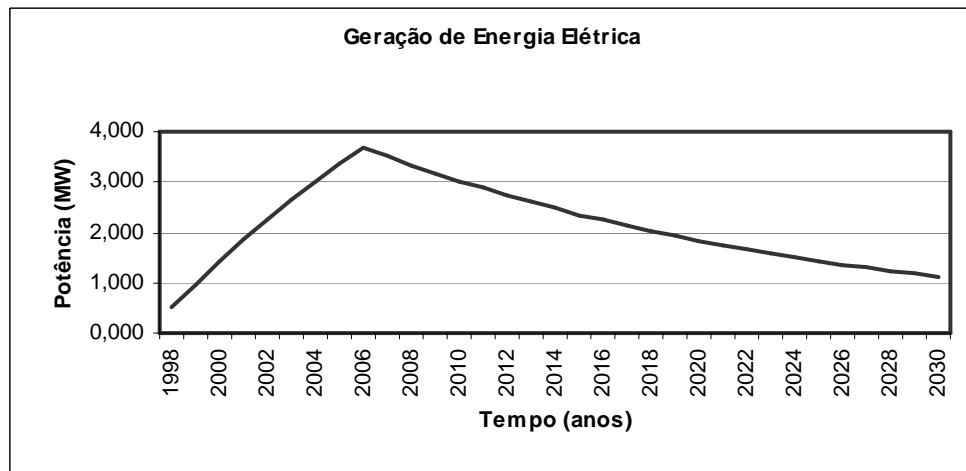


Figura 1 – Curva de geração de energia elétrica estimada para o biogás do Aterro Metropolitano Santa Tecla.

### 3.1.3 Investimento da usina de geração de energia elétrica

Definida a potência da usina de geração de energia elétrica, simulou-se o valor necessário para o investimento do empreendimento, com base nos estudos de pré-viabilidade do Banco Mundial (2005), aplicados na Equação 2 apresentada no item 2.

Obteve-se um valor de US\$ 2,004 milhões para a usina de geração de energia elétrica e US\$ 2,004 milhões para o sistema de coleta e captação do biogás, totalizando o investimento em US\$ 4,008 milhões com financiamento total pelo Banco Mundial, com juros de 8% a.a. depreciados pelo sistema de amortização constante conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Tabela SAC do empreendimento

Período	Saldo Devedor	Prestação	Amortização	Juros
0	4.008.481,74			
1	3.607.633,57	721.526,71	400.848,17	320.678,54
2	3.206.785,39	689.458,86	400.848,17	288.610,69
3	2.805.937,22	657.391,01	400.848,17	256.542,83
4	2.405.089,05	625.323,15	400.848,17	224.474,98
5	2.004.240,87	593.255,30	400.848,17	192.407,12
6	1.603.392,70	561.187,44	400.848,17	160.339,27
7	1.202.544,52	529.119,59	400.848,17	128.271,42
8	801.696,35	497.051,74	400.848,17	96.203,56
9	400.848,17	464.983,88	400.848,17	64.135,71
10	-	432.916,03	400.848,17	32.067,85

### 3.1.4 Análise da viabilidade econômica

Na análise da viabilidade econômica do empreendimento foi considerada a possibilidade da venda de créditos de carbono. Segundo Protocolo de Quioto (MCT, 1998) o projeto se enquadra no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL deve contemplar os seguintes critérios:

a) adicionalidade: o projeto deve comprovadamente resultar na redução de emissões de gases de efeito estufa e/ou remoção do gás carbônico adicional à que ocorreria na ausência do projeto do MDL;

b) linha base: representa um cenário de forma razoável, onde as emissões antrópicas de gases de efeito estufa ocorreriam na ausência do projeto proposto. Considera-se como linha de base o valor de 13,5% do biogás gerado, já que existe um



sistema de ventilação e queima do biogás com 140 drenos;

c) viabilidade do empreendimento condicionada à venda dos créditos de carbono: o projeto só será cadastrado no MDL se a venda dos créditos de carbono for imprescindível à viabilidade econômica do projeto, isto é, sem a venda desses créditos o projeto seria economicamente inviável.

A seguir são apresentadas as simulações de oito cenários considerando diferentes valores para a venda de energia e de créditos de carbono.

Tabela 4 – Cenário para análise do investimento

Cenários	Preço do CER (US\$)	Preço Energia Elétrica (US\$/kWh)	TIR (%)	VPL (taxa 8%)
I	5,00	0,0592	13,76%	\$1.322.238,85
II	6,00	0,0592	14,95%	\$1.599.016,11
III	4,00	0,0592	12,54%	\$1.041.950,00
IV	5,00	0,0746	22,64%	\$3.572.963,10
V	5,00	0,0439	2,24%	(\$1.221.389,35)
VI	-	0,0746	16,96%	\$2.189.076,77
VII	-	0,0592	7,19%	(\$188.162,46)
VIII	-	0,0439	-7,01%	(\$3.098.835,01)

Onde: CER-Certificado de Redução de Emissões; TIR-Taxa Interna de Retorno; VPL-Valor Presente Líquido.

A Tabela 4 apresenta oito simulações de cenários para análise de investimento. Para elaboração destes cenários, foram atribuídos valores para a venda dos certificados de redução de emissões (CER) e para a venda da energia elétrica gerada no aterro.

Em todos os cenários apresentados foi considerado que o biogás será adquirido do proprietário do aterro sanitário. Neste caso, os municípios de Porto Alegre, Gravataí, Esteio e Cachoeirinha, gerariam uma receita de U\$ 1.864.061,30, em 11 anos de operação da usina.

Após a análise desses cenários, observa-se que o cadastramento do projeto no mecanismo de desenvolvimento limpo é indispensável para a viabilização econômica do empreendimento. Nos cenários VI, VII, e VIII, onde não contemplava-se a venda de créditos de carbono, apenas apresentou-se viável o projeto na situação de venda de energia elétrica a um valor extremamente otimista. Com isto, o projeto acolhe todos os requisitos exigidos pelo MDL para a venda dos créditos de carbono: adicionalidade, linha base e viabilidade do empreendimento condicionada à venda dos créditos de carbono. Nos demais cenários, o projeto apenas não se apresentou viável na situação de venda de energia elétrica a um valor pessimista, sendo as demais situações todas viáveis financeiramente.

#### 4 Conclusões

Os resultados obtidos na aplicação do procedimento para a análise da viabilidade econômica do empreendimento, na usina de geração de energia elétrica, utilizando o biogás do Aterro Metropolitano Santa Tecla para uma situação conservadora de venda de energia elétrica e venda dos créditos de carbono demonstrou-se viável economicamente com uma TIR de 13,76% e um VPL de U\$ 1.322.238,85 para uma taxa mínima de atratividade de 8% a.a, porém com grande sensibilidade a cotação do dólar. Estes valores foram obtidos com a cotação do dólar em R\$ 2,28.

É relevante salientar que a instalação da usina de geração de energia gera uma



# 1º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 29 a 31 de Outubro de 2008

receita ao proprietário do aterro de U\$1.864.061,30 pela compra do biogás, neste caso os municípios proprietários dos aterros, que, por sua vez, compram energia elétrica para a iluminação pública e para os estabelecimentos municipais. Isso poderia ser compensado e adquirido por um preço mais acessível do que o valor das concessionárias, redistribuindo aos municíipes uma taxa menor de iluminação pública e coleta de lixo urbano.

Do ponto de vista da matriz energética, é estratégica a diversificação de fontes geradoras de energia, sendo o biogás uma fonte alternativa, renovável, disponível, próxima aos centros consumidores de energia elétrica e até o presente, com apenas 6% do potencial utilizado.

Do ponto de vista econômico, a venda dos créditos de carbono ao mercado internacional contribui para o superávit da balança comercial. Porém, as altas taxas de juros praticadas no Brasil, diminuem a atratividade para investimentos desta natureza e instabilidade da cotação da moeda nacional em relação ao dólar, afastam os investidores estrangeiros que optam por aplicar no mercado financeiro.

Cabe o desafio de fomentar a utilização do potencial do biogás de aterros sanitários para a geração de energia elétrica gerando benefícios ambientais e econômicos.

## Referências

BANCO MUNDIAL. **Estudos de pré-viabilidade.** 2005. Landfill Gas. Disponível em: <[http://www.bancomundial.org.ar/lfg/gas\\_estudios\\_prefac\\_po.htm](http://www.bancomundial.org.ar/lfg/gas_estudios_prefac_po.htm)> Acesso em: ago 2005.

Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU).**Informações técnicas.** Porto Alegre: DMLU,2005.

ENSINAS, A. V. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas – SP.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira.** 7<sup>a</sup> ed. São Paulo: Harbra, 2002.

HINRICHES, R.A., KLEINBACH M. K. **Energia e meio ambiente.** 3<sup>a</sup> ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

ROSS, S. A. *et al.* **Administração financeira.** Trad. de A. Z. Sanvincente. São Paulo: Atlas, 1995.

SOUZA, A. e CLEMENTE, A. **Decisões financeiras e análise de investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações.** São Paulo: Atlas, 1995.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Air emissions from municipal solid waste landfills – background information for proposed standards and guidelines.** Emission Standards Division. 1991.