

ANÁLISE DO POTENCIAL TEÓRICO DA GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DO BIOGÁS NO ATERRO SANITÁRIO DE VARGINHA¹

ERIKA BARRAK²

¹Publicado no Ano de 2019;

²Mestre em Engenharia de Energia pela Universidade Federal de Itajubá- UNIFEI, erikabarrak@gmail.com.

Resumo

As cidades brasileiras enfrentam hoje problemas com o destino final dos resíduos sólidos urbanos, que ainda são despejados em grandes quantidades em lixões sem nenhum tipo de tratamento. Na busca por novas alternativas para geração de energia, os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) têm sido amplamente utilizados nos tratamentos térmicos e biológicos através da incineração e do biogás gerado nos aterros sanitários respectivamente. Nos aterros sanitários o uso do biogás na geração de energia elétrica se tornou uma maneira sustentável de se aproveitar energeticamente os resíduos sólidos e que ainda tem como vantagem a redução nas emissões dos gases de efeito estufa, como por exemplo, o metano. Neste contexto, este artigo tem como objetivo avaliar o possível potencial do uso do biogás para geração de energia elétrica no aterro sanitário na cidade de Varginha, que hoje não aproveita o biogás para gerar energia. O projeto apresenta viabilidade econômica somente se forem comercializados créditos de carbono e se o valor pago pela energia elétrica não variar significativamente.

Palavras-chave: Resíduos sólidos urbanos, aterro sanitário, biogás, geração de energia elétrica.

ANALYSIS OF THE THEORETICAL POTENTIAL OF ENERGY GENERATION FROM THE BIOGÁS LANDFILL IN VARGINHA

Abstract

The Brazilian cities face problems with disposal of municipal solid waste, which are still dumped in large quantities in open places without any treatment. In the search for new alternatives for power generation, Municipal Solid Waste (MSW) has been widely used in thermal and biological treatments through the incineration and the biogas generated in the landfills respectively. In landfills the biogas used to generate electricity has become a sustainable way to enjoy the energy from waste and still has the advantage of reducing emissions of greenhouse gases, such as methane. In this context, this article aims to evaluate the possible potential of biogas for power generation in the landfill in the city of Varginha, which does not use the biogas to generate energy. The project is economically viable only if carbon credits are sold and if the amount paid for electricity does not vary significantly.

Keywords: Municipal solid waste, landfills, biogas, electricity generation.

Introdução

Os resíduos sólidos atualmente são um problema nos centros urbanos, visto que nas últimas décadas houve um aumento nas atividades industriais e aumento da população. Com o crescimento desordenado e sem planejamento das cidades, o manejo dos resíduos sólidos urbanos se torna uma dificuldade, e estes são despejados em locais não apropriados, como por exemplo, em lixões, que são depósitos a céu aberto, que por não apresentarem nenhum tipo de tratamento ou controle nos resíduos sólidos ali despejados, oferecem risco à saúde e ainda prejudicam o meio ambiente contaminando o solo, ar e água. Uma das soluções para reduzir a quantidade de lixo depositado nos lixões e que será o motivo de estudo deste artigo é a utilização deles como combustível para geração de energia elétrica na busca por fontes de energias alternativas.

Em relação à disposição final dos resíduos, segundo a ABRELPE (2015), houve um aumento na quantidade de resíduos destinados aos aterros sanitários, porém também foi registrado um aumento na quantidade de RSU que tiveram seu destino final em locais

inadequados. No Brasil a destinação inadequada dos resíduos sólidos ainda é muito presente em todas as regiões e estados brasileiros e em 3.326 municípios.

O aproveitamento energético dos resíduos sólidos se torna uma alternativa promissora para geração de energia elétrica. Embora não se trate de potencial com dimensão suficiente para sustentar uma estratégia de expansão da oferta de energia elétrica do país no longo prazo, a geração de eletricidade a partir de resíduos sólidos é, sem dúvida, elemento importante de uma estratégia regional ou local e não deve ser desconsiderada (EPE,2008).

Uma das formas de se gerar energia pela utilização dos resíduos sólidos urbanos é através do aproveitamento do biogás gerado nos aterros sanitários, que de acordo com Borba (2006) um aterro pode ser comparado a um reator biológico, onde as principais entradas são os resíduos e a água e as principais saídas são os gases e o chorume. A decomposição da matéria orgânica ocorrerá em dois processos, o primeiro é de decomposição aeróbia e ocorre normalmente no período de deposição do resíduo. Após este período, a redução do O_2 presente nos resíduos dá origem ao processo de decomposição anaeróbia.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente o gás de aterro é composto por vários gases, alguns presentes em grandes quantidades como o metano e o dióxido de carbono e outros em quantidades em traços. Os gases presentes nos aterros de resíduos incluem o metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), amônia (NH_3), hidrogênio (H_2), gás sulfídrico (H_2S), nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2). O metano e o dióxido de carbono são os principais gases provenientes da decomposição anaeróbia dos compostos biodegradáveis dos resíduos orgânicos. Para a conversão energética do biogás são utilizados os motores de ciclo Otto, devido ao seu maior rendimento elétrico e menor custo (ICLEI, 2010).

Desta maneira, o objetivo deste artigo será estimar o potencial teórico da geração de energia elétrica a partir da queima do biogás de aterro sanitário para a cidade de Varginha-MG e realizar uma análise econômica.

Materiais e métodos

A metodologia aplicada neste artigo consistiu em realizar a projeção populacional e estimar geração de resíduos sólidos urbanos de Varginha durante 20 anos, período de funcionamento do aterro. Para a obtenção da produção de biogás, foi utilizado o software LandGEM[®] (USEPA, 2005). A partir da quantidade de gás gerado foi realizado o planejamento energético da geração de energia através de motores de combustão interna Otto

e em seguida foi feita uma análise econômica para o projeto através das ferramentas financeiras VPL (valor presente líquido) e TIR (taxa interna de retorno).

Projeção da população e geração de resíduos sólidos

Para a projeção populacional é necessário que se conheça ao menos três dados sobre a população do município escolhido. Através do site do IBGE foi possível obter os dados da série histórica da população de Varginha dos anos 2000, 2007 e 2010. O cálculo da projeção foi feita no software Microsoft® Excel e a metodologia utilizada foi a de Qasim (1985 apud Von Sperling, 2005). Para o cálculo, foi adotado o crescimento logístico para projeção populacional, modelo matemático em que o crescimento populacional segue uma relação matemática em que população tende assintoticamente a um valor de saturação. Os parâmetros podem ser também estimados por regressão não linear e para que a série seja aceita, são necessárias as seguintes condições: $P_0 < P_1 < P_2$ e $P_0 \cdot P_2 < P_1^2$. O ponto de inflexão na curva ocorre no tempo $[t_0 - \ln(c)/K_1]$ e com $P_t = P_s/2$.

$$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2} \quad (1)$$

$$K_d = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \ln \left[\frac{P_0 \cdot (K_s - P_1)}{P_1 \cdot (K_s - P_0)} \right] \quad (2)$$

$$C = \frac{P_s - P_0}{P_0} \quad (3)$$

$$P_t = \frac{K_s}{1 + C \cdot e^{K_d \cdot (t - t_0)}} \quad (4)$$

Onde:

- P_0, P_1, P_2 : populações nos anos t_0, t_1, t_2 (as fórmulas para taxa decrescente e crescimento logístico exigem valores equidistantes, caso não sejam baseadas na análise da regressão) (hab);
- P_t : população estimada no ano t (hab) ;
- P_s : população de saturação (hab);
- K_d, K_1 : coeficientes (a obtenção dos coeficientes pela análise da regressão é preferível, já que se pode utilizar toda a série de dados existentes, e não apenas P_0, P_1 e P_2).

Geração de resíduos sólidos urbanos

O cálculo da geração dos resíduos foi feito a partir do índice de geração per capita de massa coletada no ano de 2010 para a cidade de Varginha, cujo valor foi de 0,65 kg/hab.dia (FERREIRA, 2013). A partir deste valor para os anos seguintes foi feito um acréscimo de 1% ao ano (BARROS, 2013). A quantidade de resíduos gerados é a multiplicação entre a população de cada ano e o índice de geração per capita acrescido de 1%.

Cálculo da potência disponível

O cálculo para estimar a potência disponível através do biogás gerado pela decomposição da matéria orgânica do aterro sanitário é dada a partir da equação 5. Foi adotado que 75% do biogás gerado é coletado (CETESB, 2006),

$$Pot = \frac{Q \cdot Ec \cdot PCI \cdot \eta}{31.536.000} \quad (5)$$

Onde:

- Pot: potência disponível (kW);
- Q: vazão de biogás coletado (m³/ano);
- Ec: eficiência de coleta do gás;
- η: rendimento do motor de combustão interna operando em plena carga, 33%;
- PCI: poder calorífico inferior do biogás (kJ/m³);
- 31.536.000: tempo de operação em um ano (s)

A conversão de metano em energia para cada ano é calculada da seguinte maneira:

$$E = P_{disp} \cdot t \quad (6)$$

Onde:

- E: Potência elétrica útil (kW)
- P_{disp}: Potência disponível (kW)
- t: número de horas de operação anual. Valor adotado 8.000 horas, considerando que 760 horas sejam para eventuais paradas de manutenção.

Software LandGEM[®]

O LandGEM[®], (Landfill Gas Emissions Model-Modelo de Emissão de Gases de Aterro Sanitário), software da United States Environmental Protection Agency (USEPA, 2005), é uma ferramenta de estimativa com interface do Microsoft Excel que pode ser usado para estimar as taxas de emissões de gás total do aterro, metano, dióxido de carbono,

compostos orgânicos não metano e os poluentes atmosféricos individuais de aterros sanitários de resíduos sólidos.

O LandGEM[®], utiliza a equação de primeira ordem para estimar a taxa de emissões pela decomposição anual em relação a um período de tempo especificado pelo usuário.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 KL_0 \left(\frac{M_t}{10} \right) e^{-Kt_{i,j}} \quad (7)$$

Onde:

- Q_{CH_4} : geração anual de metano para o ano calculado (m^3 /ano);
- i : incremento de tempo de 1 ano;
- n : ano do cálculo (ano inicial de abertura do aterro);
- j : incremento do tempo de 0,1 ano;
- k : capacidade potencial de geração de metano (ano^{-1});
- L_0 : capacidade potencial de geração de metano (m^3 /Mg);
- M_t : massa de resíduos aceita no enésimo ano (Mg);
- $t_{i,j}$: idade da j -ésima seção de massa de resíduo M_i , aceita no enésimo ano (anos em número decimal, por exemplo 3,2 anos).

Resultados e discussão

Estimativa populacional e geração de resíduos sólidos urbanos

A partir dos dados da população dos anos de 2000, 2007 e 2010 obtidos pelo site IBGE cidades (Tabela 1) e da metodologia de crescimento logístico, foi possível obter a projeção populacional e a estimativa da quantidade de resíduos gerados na cidade de Varginha durante os 20 anos de funcionamento do aterro sanitário hipotético (Figura 1):

Tabela 1– População dos últimos três censos do IBGE

Ano	População
2000	108.998
2007	116.093
2010	123.081

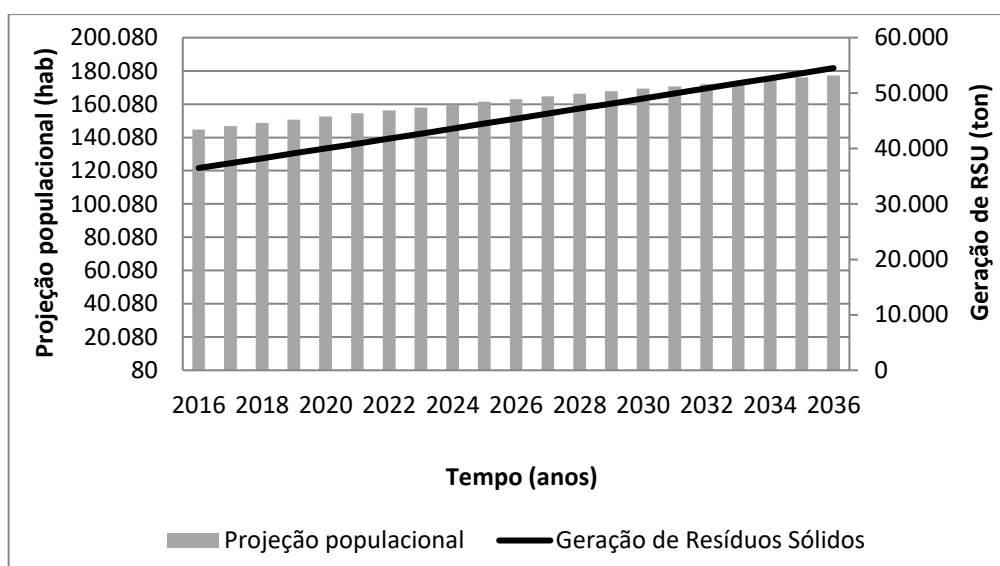


Figure 1 – Estimativa do crescimento populacional e da geração de resíduos de Varginha

Observa-se na figura 1 que tanto a população quanto a geração de resíduos apresentam crescimento contínuo. Até o ano de 2036 a estimativa é de que a população terá crescido em 22%, enquanto que a quantidade de resíduos gerados terá aumentado em 33%, ou seja, a geração de resíduos apresentará um crescimento superior ao crescimento populacional.

Estimativa da geração de biogás de aterro

A quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados anualmente serviu de entrada no software LandGEM[®] para estimar quanto de biogás e metano serão produzidos pelo aterro. A tabela 2 mostra alguns parâmetros adotados no software:

Parâmetros	Valores	Fonte
Taxa de geração de metano (k) (ano ⁻¹)	0,5	
Capacidade potencial de geração de metano (L ₀) (m ³ /Mg)	170	USEPA (2005)
Porcentagem de metano contido no biogás (%)	50	

Na figura 2 estão representadas as curvas de biogás e metano gerados no aterro, onde a produção de gás aumenta conforme mais resíduos são depositados no aterro, com o passar dos anos, até que essa produção de gás chega ao seu máximo valor de $10,43 \cdot 10^6$ m³/ano, que corresponde ao último ano de funcionamento do aterro. A partir deste ponto a curva decai, uma vez que o aterro já não recebe RSU e pela recalcitrância microbiana, ou seja, a

incapacidade dos microrganismos na degradação e reciclagem de nutrientes. De acordo com Souza (2005) esta dificuldade de degradação biológica pode estar associada a presença de compostos de elevada massa molecular com estruturas complexas.

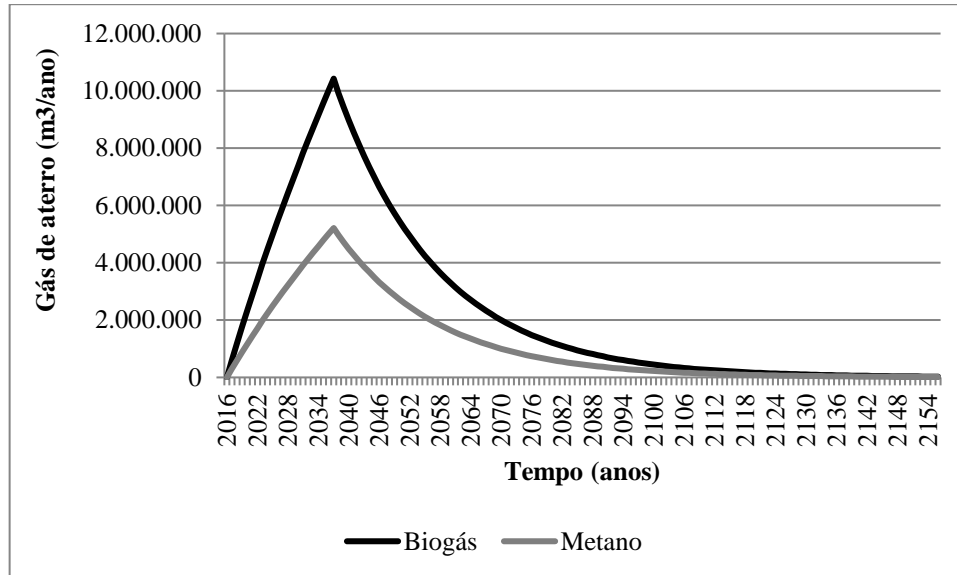


Figure 2 – Produção de biogás e metano no aterro de Varginha

A partir dos valores anuais de biogás obtidos pelo software LandGEM[®], a potência e energia disponível para cada ano foi calculada através da equação 5 e 6 respectivamente. Os parâmetros adotados para o cálculo estão na tabela 3.

Tabela 1 - Parâmetros para o cálculo da potência disponível e energia

Parâmetros	Valores	Fonte
PCI do metano (J/m ³)	35,53. 10 ⁶	CETESB (2006)
Eficiência de coleta dos gases (%)	75	CETESB (2006)
Eficiência do motor de combustão (%)	33	BARROS (2013)

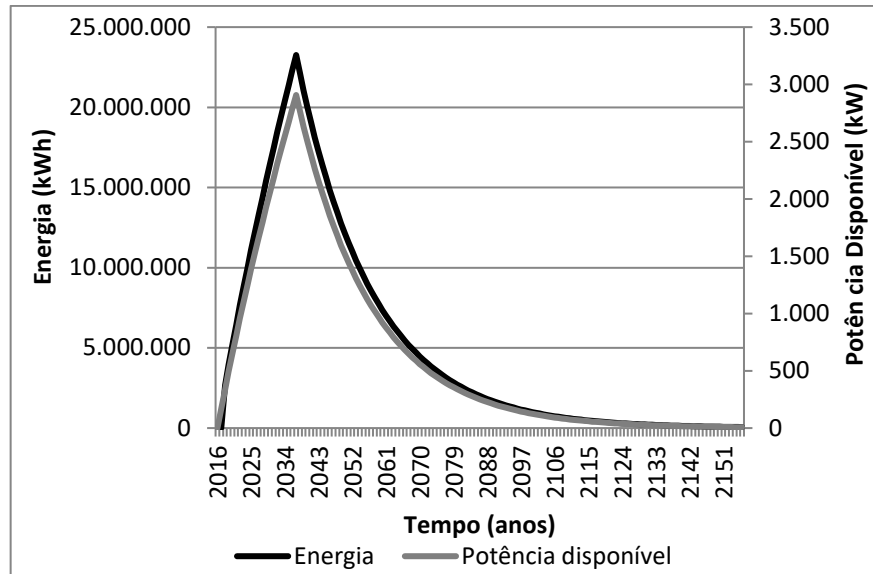


Figure 3 – Potência disponível e energia

As estimativas da potência e da energia elétrica disponível aumentam com o passar dos anos até 2037, já que estes valores estão associados à geração de biogás.

De acordo com EPE (2017), o consumo mensal de energia nas residências tem se mantido praticamente constante em torno de 158 kWh e através dos cálculos realizados, a energia média disponível por ano gerada pelo aterro corresponde a 1.024.315 kWh, com esta energia seria possível abastecer aproximadamente 540 residências.

Planejamento energético

Uma vez que a curva da potência do aterro é variável, se torna importante para a análise do investimento econômico que seja definido um valor de potência por um determinado período. Foi definida a utilização de 3 grupos geradores que estarão operando a plena carga (vide Figura 4).

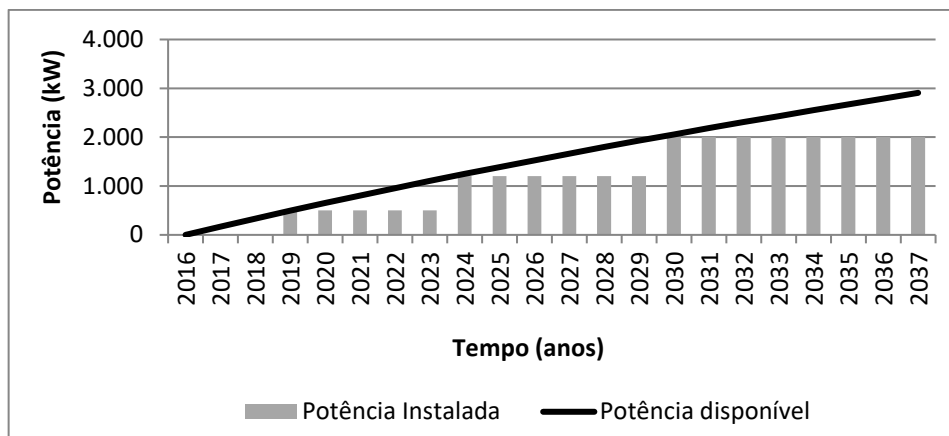


Figure 4 – Planejamento energético

Como a vida útil dos motores a bigás é reduzido devido à composição do biogás conter componentes corrosivos como o H_2S , foi adotado que nos primeiro 20 anos de funcionamento do aterro, período em que a taxa de biogás aumenta até sua vazão máxima, serão instalados 3 grupos geradores que funcionarão a plena carga. A partir da potência disponível do aterro, foi selecionado o primeiro grupo gerador de potência de 500 kW, que começará a operar a partir do quarto ano (2019) da abertura do aterro até 2023, ano em que um novo grupo gerador de potência de 1.200 kW será adquirido e operará por 6 anos. E por fim em 2030 será posto em operação o grupo gerador de 2.000 kW que estará gerando energia até o vigésimo primeiro ano de operação do aterro. Em 20 anos o aterro acumula uma energia disponível de 270.419.298 kWh. A partir do planejamento energético realizado com o uso dos motores de combustão interna para geração de energia elétrica e considerando seu funcionamento durante 8.000 horas ao ano, 76% da energia total disponível do aterro será convertida em energia elétrica, gerando 1,32 MW de potência. Pode não se tratar de um grande potencial, mas pode ser visto com uma estratégia local ou regional gerar energia elétrica a partir do aterro sanitário.

Análise financeira

As ferramentas matemáticas de análise econômica servem para auxiliar o investidor na tomada de decisão de um projeto ser economicamente atrativo ou não. Para este trabalho será utilizado o Payback Descontado que ao contrário do payback simples, considera o valor do dinheiro no tempo, ou seja, o payback descontado é o tempo de recuperação do investimento, remunerado pela taxa de juros representada pela taxa mínima de atratividade (TMA). E foram utilizados o VPL e a TIR, que segundo Souza (2007), são os mais utilizados

pelas empresas para análise de investimento. Para a análise financeira foi utilizado o valor de 12% para a TMA.

Após ser definida a potência para geração de energia elétrica do aterro, foi estimado o custo de investimento e O&M (operação e manutenção) baseado nos valores estabelecidos pela USEPA (2007) (vide Tabela 4). Os autores Henriques (2004) e Pavan (2010) consideram necessários para a geração de energia a partir do biogás de aterro o sistema de coleta de gás, “*flare*” para queima do gás excedente, sistema de condicionamento e tratamento de gás e o sistema de geração de energia que inclui os grupos geradores.

Tabela 4– Custos de investimento e O&M para os sistemas básicos para geração de energia elétrica a partir do biogás

Sistema de coleta	
Componentes	Custo (US\$)
Poços	400,86/m de profundidade
Cabeçotes	1.147,5 a unidade
Tubulação	175,95/m
Soprador	1.080,18/m ³ /min
Remoção de condensado	1.2240 a unidade
Sistema de monitoramento	1.530 a unidade
O&M dos sistemas de coleta	1.530/poço ao ano
Flare	
Flare	114750 a unidade
O&M do sistema flare	3060 ao ano
Condicionamento do gás/Tratamento	
Lavador	810,9/m ³ /min
Dessecador	540,09/m ³ /min
Refrigeração	3.240,54 /m ³ /min
Filtros	4.896 a unidade
Instalação de tratamento do gás e outros custos	810,9/m ³ /min
O&M do tratamento do gás	1.5300 ao ano
Geração de eletricidade	
Custos do sistema de controle	229,5/kW
Instalação da geração de eletricidade e outros custos	612/kW
Grupo moto-gerador (baixa e alta pressão)	688,5/kW
O&M (fixo)	1.14750/MW/ano

Os valores dos custos da tabela foram ajustados do ano de 1997 para 2016 com a inflação média anual de 53%.

Fonte: USEPA (1997)

A figura 5 representa as receitas e despesas consideradas neste trabalho. O investimento inicial da planta foi de (\$1.418.504,67) e conta com o sistema de coleta, “flare”, sistema de condicionamento/tratamento do gás e a geração de energia para o primeiro grupo gerador cuja potência foi de 500 kW. As receitas consideradas foram a venda de energia elétrica, cujo valor da tarifa adotada foi de R\$ 235,95/MWh, valor estabelecido no leilão A-5 para usinas térmicas movidas à biomassa (ANEEL, 2016). Para cotação do dólar no dia 08/12/2017 no valor de \$3,28 a energia foi vendida a \$76,25. A comercialização dos créditos de carbono foi realizada ao preço do dia 08/12/2017 a €7,35 segundo o site ¹investing. A cotação do euro em dólar na mesma data foi de US\$ 1,18, portanto a tCO₂ foi comercializada a \$8,673. Os custos de O&M foram baseados na tabela 4 e as despesas adicionais foram com a compra dos grupos geradores de 1.200 e 2.000 kW.

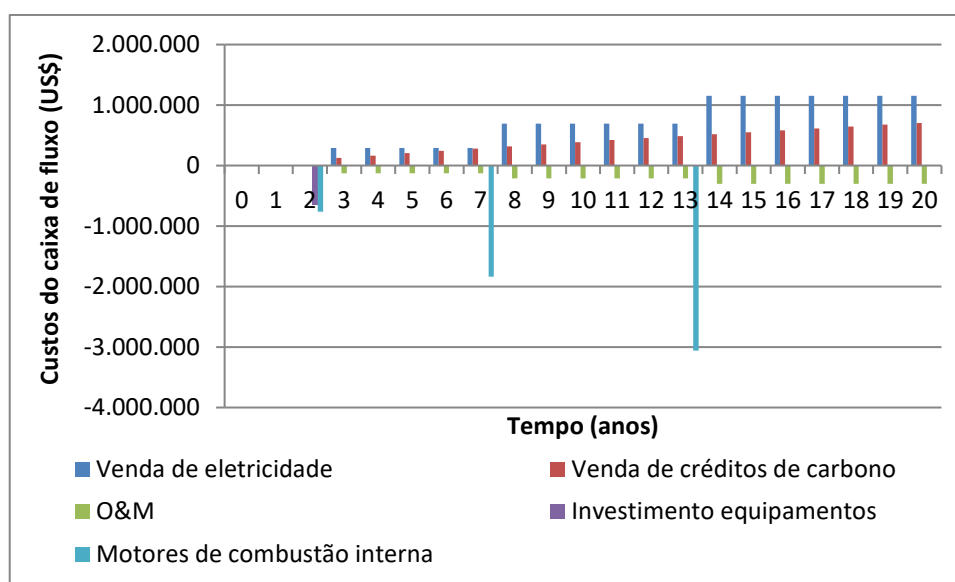


Figure 5 – Custos que formam o caixa de fluxo

O projeto se mostrou viável e apresentou VPL positivo no valor de \$1.861.840,04 e TIR de 23%, com retorno de investimento previsto a partir do décimo quarto ano.

Para avaliar a importância dos parâmetros adotados para a realização da análise econômica, foi feita uma análise de sensibilidade variando $\pm 50\%$ o preço da energia elétrica, o preço para comercialização dos créditos de carbono e o valor do investimento inicial.

¹ Portal financeiro que relaciona ferramentas e informações relacionadas aos mercados financeiros tais como cotações, fluxo contínuo de gráficos em tempo real, informações detalhadas sobre câmbio, índices, ações, taxas, títulos e etc.

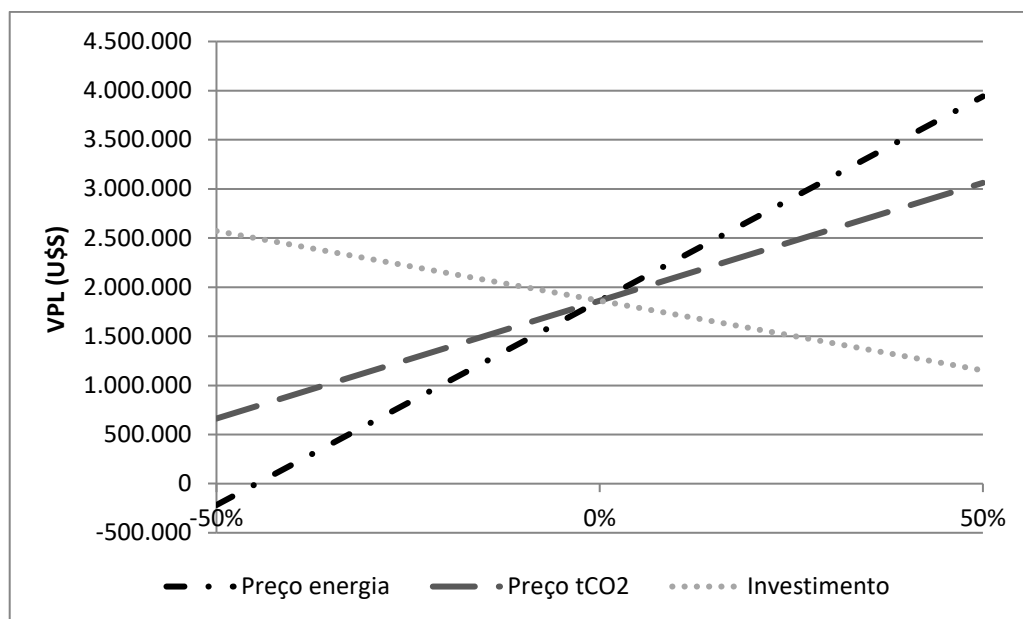


Figure 6 – Análise de sensibilidade

Ao observar a figura 6, as curvas referentes ao preço da venda de energia e ao preço da tCO₂ são as que possuem maior inclinação em relação ao eixo horizontal, por tanto estes são os parâmetros que mais influenciam na rentabilidade do projeto.

A receita com a venda de energia elétrica é a que mais influencia a rentabilidade do projeto positivamente e negativamente. Com a redução do preço de venda da energia elétrica em 50% o projeto se torna inviável (VPL<0), apresentando VPL igual a (US\$217.350,65), porém se o valor do preço da energia aumentar, mais rentável será o projeto. O preço mínimo de venda da energia (VPL=0) é de \$39,73.

Em relação à venda dos créditos de carbono, ao variar o preço da tCO₂ em ±50% o projeto ainda se torna viável. No caso de que não fosse comercializado os créditos de carbono, o projeto apresentaria um VPL no valor de (US\$537.631,21) e uma TIR de 8%, ou seja, incluir a venda dos créditos de carbono como receita se mostra de extrema importância na viabilidade do projeto.

Conclusões

Este artigo é um estudo preliminar da possibilidade da geração de energia elétrica a partir do uso do biogás gerado em aterro sanitário hipotético para cidade de Varginha.

Os resultados são de que em 20 anos a população do município de Varginha terá crescido juntamente com a geração de resíduos sólidos urbanos. Com o crescente aumento na quantidade de resíduos que serão gerados ao longo dos anos, a geração de biogás também

umenta atingindo seu pico em 2037, uma vez que de um ano para o outro o lixo vai se acumulando no aterro.

A análise econômica revelou que o projeto para geração de energia elétrica a partir do biogás de aterro sanitário é viável economicamente. Pela análise de sensibilidade observou-se que as receitas do projeto são os dois parâmetros que mais influenciam a viabilidade econômica e constatou-se que no caso de não haver comercialização dos créditos de carbono o projeto se tornaria inviável, portanto a viabilidade do projeto fica dependente dos bons preços da venda de eletricidade.

O uso do biogás é uma alternativa para diversificar a geração de energia através de uma fonte renovável, que está próxima aos centros de consumo e que apresenta como vantagens o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos, uma vez que grande parte do lixo no Brasil é destinado aos aterros, e ainda trás a possibilidade da redução de gases de efeito estufa.

Referências

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015**. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>>. Acesso em: 18 jul 2017.

BARROS, R.M. **Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. 1ª edição. Rio de Janeiro. Interciência; Minas Gerais: Acta, 2013. 374p.

BORBA, S. M. P. **Análise de modelos de geração de gases em aterros sanitários: estudo de caso**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2006.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Biogás, geração e uso energético- aterros, versão 1.0** / CETESB, Secretaria de Meio Ambiente, Ministério da Ciência e Tecnologia. São Paulo: SMA: CETESB: MCT. 2006. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/biogas/software/>>. Acesso em 6 fev 2017.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Nota Técnica DEN 06/08**. Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS. Rio de Janeiro, 2008.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Resenha mensal do mercado de energia elétrica**. Ano XI, número 12. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal/Resenha%20Mensal%20%20Novembro%202017_vf.pdf>. Acesso em: 09 dez 2017.

FERREIRA, R. C. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos-PMGIRS, Varginha, 2013**. Disponível em: <[http://www.varginha.mg.gov.br/Pdfs_e_arquivos_de_leis/article/10027/Dec6560\(AnexoPlanoMunicipalGIRS\).pdf](http://www.varginha.mg.gov.br/Pdfs_e_arquivos_de_leis/article/10027/Dec6560(AnexoPlanoMunicipalGIRS).pdf)>. Acesso em: 25 jan 2017.

HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica.** 204 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTADÍSTICA. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/populacao.php?lang=&codmun=315180&search=|pocos-de-caldas>>. Acesso em 04 de dezembro de 2017.

ICLEI. **Manual para aproveitamento do biogás: volume dois, efluentes urbanos.** ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2010.

PAVAN, M. D. C. **O.Geração de Energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil.** 187 p. Tese (Doutorado em Energia) - Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 2010.

QASIN, S., R. **Wastewater Treatment Plants – Planning design and operation.** 2ª ed. Lancaster, Pennsylvania, USA Technomic Publishing Company, 1998, 1107 p.

SOUZA, J. S. Análise crítica sobre técnicas de avaliação de investimentos mais utilizados pelas empresas. **In:** XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2007, Foz do Iguaçu.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Landfill Gas Emissions Model. (LandGEM).** Version 3.02 User's Guide. USEPA, May 2005. EPA-600/R-05/047. Disponível em:<<http://www.waste.ccacoalition.org/document/landfill-gas-emissions-model-landgem-version-302>>. Acesso em: 10 dez 2017.

VON SPERLING, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento e esgotos.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. 2ª ed. 2005.