Avaliação do Potencial Econômico e Ambiental dos Resíduos Sólidos Gerados na Cidade de Ponta Grossa: Um Estudo sobre a Produção de Biogás, Biofertilizantes e Créditos de Carbono

REVISTA ELETRÔNICA MULTIDISCIPLINAR
FACEAR

Elton Simomukay[1]
[1] *Colégio Estadual João R. Borell du Vernay*

RESUMO
Devido a Política Nacional de Resíduos Sólidos é importante o poder público e privado conhecer as possibilidades de investimentos para um aproveitamento viável deste recurso a fim de manter os aspectos legais da legislação, a diminuição do impacto ambiental e a valorização de resíduos sólidos dispostos em aterros sanitários. Os aterros sanitários produzem gases com elevada concentração de metano (CH4) que compõem o biogás, de alto poder energético, que pode ser utilizado como uma fonte de bioenergia para uso elétrico, térmica, veicular e iluminação em indústrias, residências e comércio. Ainda é possível a produção de biofertilizantes e a venda de créditos de carbono seguindo o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O objetivo deste trabalho é conhecer o potencial de geração de energia do biogás, biofertilizantes e créditos de carbono de um aterro instalado na cidade de Ponta Grossa. Através do cálculo da geração de metano proveniente da geração diária de resíduos sólidos da cidade na qual foram utilizados métodos citados na literatura e do programa Biogás Geração e Uso Energético da CETESB-SP foram estimadas possibilidades de receita financeira para a produção destes produtos
Palavras chave: Gestão Ambiental, Resíduos Sólidos, Aterros Sanitários.

ABSTRACT.
Due to PNRS is important to be able to meet public and private investment possibilities for a viable exploitation of this resource in order to maintain the aspects of legislation, reducing the environmental impact and the recovery of solid waste disposed in landfills. Landfills produce gases with high concentration of methane (CH_4) that make biogas, high energy power, which can be used as a source of bioenergy for electrical, thermal, lighting and vehicular use in industries, homes and trade. Yet is possible the production of biofertilizers and the sale of carbon credits following the Clean Development Mechanism (CDM). Objective of this work is to understand the potential power generation from biogas, biofertilizers and carbon credits from a landfill installed in Ponta Grossa city. Across calculating the methane generation from the daily solid waste generation in the city which were used methods cited in the literature and biogas generation and energy program Biogas of Cetesb SP-interest income opportunities for the production of these products were estimated.

Key Words: Environmental Management, Solids Waste, Sanitary Landfills

1. INTRODUÇÃO

O enorme crescimento das atividades humanas através da história da industrialização levou a uma diversidade de resíduos gerados e consequentemente no surgimento de efeitos potencialmente prejudiciais ao meio ambiente devido ao aumento do volume de resíduos sólidos e da relação consumo/descarte segundo (MACHADO,2010).

O consumo excessivo, a urbanização e concentração populacional são fatores que agravam a problemática dos resíduos sólidos e os efeitos são muito graves que vão desde a degradação ambiental e a propagação da doença,sendo que no Brasil, mais da metade dos municípios despejam seus resíduos em lixões sem qualquer tratamento prévio segundo (CARVALHO,2012).

O aproveitamento energético do biogás produzido durante o tratamento do lixo urbano pode contribuir para a geração de riquezas, empregos e para o combate à poluição conforme (LIMA *et.al* ,2014).

O biogás uma fonte de bioenergia limpa e sustentável podendo ser utilizado como fonte geradora de energia elétrica, térmica, mecânica e gerando receita e benefícios para a sociedade e o meio ambiente conforme (ICLEI,2009). A geração de energia elétrica a partir do biogás segundo (LEAL et.al ,2012) oriundo da decomposição anaeróbica dos resíduos sólidos de origem urbana (RSU), parece ser uma alternativa ambientalmente e economicamente viável onde a matéria prima está disponível.

Quando um resíduo sólido chega ao aterro,uma nova oportunidade aparece que é a geração de energia através da produção do biogás e a comercialização de créditos de carbono existindo um considerável incremento na disponibilidade de biogás e ao surgimento da alternativa da geração de energia elétrica que pode ser aproveitada no sistema de produção ou ser vendida para as concessionárias conforme (MARTINS E OLIVEIRA,2011).

Além do biogás pode-se fabricar o biofertilizante, rico em nitrogênio e extremamente pobre em carbono, pode ser utilizado como fertilizante, corretivo de acidez, da vida bacteriana e de textura, bem como aquecimento e a geração de eletricidade citado por (JORDAN et al.,2003).

Outra forma de se gerar renda é através da venda de créditos de carbono por que o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) propõem o incentivo ao uso de tecnologia limpas através da geração de créditos gerados por atividades de redução de emissões de metano conforme (UNFCCC ,1997).

Ponta Grossa é uma cidade localizada no estado do Paraná com uma população de 331 084 habitantes sendo o principal município da região dos Campos Gerais do Paraná que tem uma população de mais de 1 100 000 habitantes segundo dados do

(IBGE,2010) possuindo o maior parque industrial do interior do estado com grandes empresas instaladas segundo a (PREFEITURA DE PONTA GROSSA,2014).

Portanto este trabalho objetivo demonstrar a oportunidade econômica dos resíduos sólidos na cidade de Ponta Grossa por meio do estudo do potencial dos resíduos sólidos gerados na cidade através da análise da geração de receita a partir da produção do biogás, biofertilizante e créditos de carbono oriundos dos resíduos sólidos do município.

2. DESENVOLVIMENTO

Para a execução deste trabalho foi realizada a coleta de dados através da verificação do Plano de Resíduos Sólidos do Município e divulgado publicamente pela prefeitura e também a informações das secretarias estaduais do meio ambiente do Paraná. Em seguida foi feita uma revisão bibliográfica sobre modelos de análise do potencial de resíduos sólidos sendo escolhido o melhor modelo em função das condições disponíveis de dados coletados e disponibilidade de recursos para a execução.

Após a aplicação dos modelos, foram realizadas as análises citadas e empregadas no trabalho de (SANTOS,2009) e a verificação dos dados obtidos através do programa (BIOGÁS,2006). As análises da geração de biogás de aterros sanitários foram realizadas conforme dados dos estudos do IBGE e CETESB validados por (ALVES e VIERA,1998) e também de dados coletados junto à prefeitura de Ponta Grossa e Secretarias de Meio Ambiente.

Os seguintes cálculos e suas respectivas equações foram utilizados sendo que para o cálculo da Geração de Resíduos (GR) foi empregada à equação 1 que utiliza uma relação entre a população e sua geração de resíduos:

$$GR = GMH \times DG \times QH \quad (1)$$

Sendo GMH a geração média de resíduos por habitante, DG os dias gerados e QH o número total de habitantes.

A metodologia proposta pelo IPCC de forma simplificada para a determinação das emissões de metano de uma região (EM) a partir de resíduos sólidos é expressa pela seguinte equação:

$$EM = GR \times TGM \quad (2)$$

Na qual TGM é a taxa de geração de metano por unidade de resíduo.

O volume de biogás gerado é calculado através da equação 3 na qual o volume (V) de biogás é calculado pela divisão da massa (m) pela densidade (d) do biogás enquanto na equação 4 é possível estimar a receita gerada do biogás (R) produzido usando-se o resultado do volume multiplicado pelo preço (P).

$$V = m \div d \quad (3)$$

$$R = V \times P \quad (4)$$

A análise da geração de biogás das estações de tratamento de esgoto também utiliza a metodologia, proposta pelo IPCC (1996) tem na equação 5 o cálculo estimado da

demanda bioquímica de oxigênio (DBO) em que se utiliza dos dados da população (P), o valor da DBO (VDBO) e o percentual de matéria orgânica removida como lodo (MO) e na equação 6 o cálculo do fator de emissão dos esgotos (FEE) na qual a fração de esgoto tratada (FET) é multiplicada pela fração de metano convertida (FMC) e a capacidade máxima de produção de metano (CMPM).

$$DBO = P\,x\,VDBO \times 1 - MO \quad (5)$$

$$FEE = FET \times FMC \times CMPM \quad (6)$$

Para a análise como biofertilizante, utiliza-se a equação 7 em que a geração de biofertilizante (GB) é calculada por:

$$GB = GR \times 80\% \quad (7)$$

Conforme descrito por (LEITE e MONTEIRO, 2005) a proporção em créditos de carbono (CC) é calculado pela equação 8 aonde mm é a massa de metano:

$$CC = mm \times 20 \quad (8)$$

O programa de computador Biogás também foi usado para a elaboração dos resultados segundo metodologia da (CETESB,2006).

O programa Biogás emprega um modelo matemático usado pela United States Environmental Protection Agency – USEPA para estimar a geração de metano nos aterros nos Estados Unidos.Neste modelo geração do biogás ocorre pelo processo de degradação anaeróbia e a estimativa de geração de metano é feita para cada porção de resíduo depositada no aterro.

No primeiro ano ocorre o maior nível de geração, reduzindo-se com o passar dos anos e com a sua intensidade variando em função da composição do resíduo e da umidade do local. Este modelo é generalizado pela equação 9:

$$Qx = k.\,Rx\,.\,Lo\,.\,e - k\,(\,x - T\,) \quad (9)$$

Nesta equação Qx corresponde a vazão de gás metano gerado no ano em toneladas por metro cúbico.

A equação engloba ainda uma constante de decaimento k [1/ano], o valor do fluxo de resíduos domiciliar anual (Rx) em [kg],o potencial de geração de metano em [m3biogás/kg] (Lo),o valor (T) do número de anos de deposição do resíduo no aterro e o ano atual (x).

Esta equação indica que as vazões (Q_x) de biogás são máximas no primeiro ano, reduzindo-se ano a ano do funcionamento do aterro. *t*. Os valores de *k* e L_0 que são usados nas estimativas podem ser encontrados na literatura ou sugeridos pelo próprio programa. O programa realiza a soma das emissões durante os anos de funcionamento do aterro utilizando a equação 10.

$$\sum Qx = F.\,k.\,L0\,\sum Rx\,.\,e - k\,(\,x - T\,) \quad (10)$$

Onde:

ΣQ_x: soma das *n* estimativas de vazões de metano [m^3CH_4]

Essa estimativa é feita ano a ano, obtendo-se assim a emissão de metano do aterro durante toda a sua vida útil e pelos anos seguintes após o seu fechamento.

É gerada por dia uma média de 195 t de resíduos domésticos na cidade de Ponta Grossa e o crescimento médio tem sido de 4,72 % na cidade.No entanto o Aterro do Botuquara recebe 12 toneladas de resíduos domésticos do município vizinho, Carambeí e mais os resíduos públicos (gerados nos serviços de varrição, capina e roçada), os resíduos coletados nos 4 distritos do município, sendo aterrados 207 t diariamente segundos dados do (PGIRS-PONTA GROSSA,2014).

O cálculo da geração *per capita* de resíduos de Ponta Grossa citado no PGIRS tem como ano-referência 2010 aonde a população segundo o IBGE era estimada em 311.611 habitantes e a quantidade de resíduos domiciliares destinada ao Aterro de 63.656 toneladas resultando em um valor per capita daquele ano foi de: 0,560 Kg/hab.dia.

Este valor é bem abaixo da geração média estimada pelo Ministério das Cidades para cidades do porte de Ponta Grossa que em média seria de 0.900 kg/hab.dia conforme o (MINISTÉRIO DAS CIDADES,2009).

O local para disposição destes resíduos tem sido o Aterro do Botuquara um passivo ambiental significativo no município cuja avaliação da área de disposição final dos resíduos, obedecendo aos critérios da CETESB obteve uma nota de IQR (Índice de Qualidade do Aterro Sanitário) de 4.7 correspondendo a condições inadequadas e por isto diversa discussão local tem sido levantada quanta a utilização do aterro e construção de um novo espaço conforme (PGIRS-PONTA GROSSA,2014).

Através da equação a Geração de Resíduos calculada a tabela 1 apresentou os seguintes resultados para os resíduos gerados:

TABELA 1 RESULTADO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS

GERAÇÃO DE RESÍDUOS TON/ANO	FONTE DE DADOS PARA GERAÇÃO MÉDIA POR KG/HABITANTE.DIA
56869	IBGE-CETESB (0,5)
57551	PGIRS-Ponta Grossa (0,506)
102365	Ministério das Cidades (0,90)
131936	Ministério das Cidades (1.16)

FONTE: AUTOR (2014)

A população utilizada foi de 311.611 hab. segundo o (IBGE,2014). Nos valores da geração média de resíduos sólidos por kg/habitante. dia foi adotado com o valor fornecido pelo IBGE-CETESB e citado por (SANTOS,2012),o valor calculado no PGIRS do município e os valores teóricos do Ministério das Cidades e o valor informado também no Ministério das Cidades em 2012.

Percebe-se ao longo de um ano a diferença de geração resíduos sólidos entre os valores quando se utiliza o valor fornecido pelo IBGE e PGIRS com os valores usando dados do Ministério das Cidades.

A fim de continuar a análise dos resultados, escolheram-se os valores mínimos e máximos e o valor médio a fim de se continuar os cálculos e a avaliação e estes passaram a ser denominados como Mínimo com valor igual a 56869, Máximo com valor de 131936 e Médio com valor 87180 toneladas por ano.

A emissão de metano na tabela 2 foi calculada utilizando a Taxa de Geração de Metano por unidade de resíduo de 0,06145 conforme a metodologia IPCC.

TABELA 2 RESULTADO DA EMISSÃO DE METANO

EMISSÃO DE METANO TON/ANO	DADOS
3494	Mínimo
8107	Máximo
5357	Médio

FONTE: AUTOR (2014)

O volume de biogás gerado é calculado através da equação 3 e considerando que o metano (CH_4) possui uma densidade de 0.00072 ton/m^3.

Porém antes é preciso descobrir o volume do biogás, pois 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.

A distribuição exata do percentual de gases variará conforme a antiguidade do aterro, segundo o (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE,2014). Na média possui a seguinte composição mostrada na tabela 3.

TABELA 3 COMPOSIÇÃO TEÓRICA DE UM BIOGÁS

GÁS	%
Metano CH_4	55
Dióxido de carbono CO_2	40
Nitrogênio (N_2)	3
Amônia (NH_3), Hidrogênio (H_2), gás sulfídrico (H_2S), e oxigênio (O_2)	2

FONTE: ERSUC (2014)

Deste modo utilizando os valores mínimos, médio e máximo encontrado pode achar os seguintes valores de volume de biogás gerado na tabela 4.

TABELA 4 RESULTADO DO VOLUME DE BIOGÁS PRODUZIDO

VOLUME DE BIOGÁS M^3	DADOS
8823232	Mínimo
20472222	Máximo
13527777	Médio

FONTE: AUTOR (2014)

Este volume pode ser transformado em receita considerando que pode ser vendido como gás natural GNV. Considerando que o GNV tem um preço de venda segundo a Agência Nacional de Petróleo (ANP) de R$ 1,99 no Paraná, teremos como receita o resultado apresentado na tabela 5:

TABELA 5 RESULTADO DA RECEITA GERADA

RECEITA EM REAIS	DADOS
17.558.231	Mínimo
40.739.721	Máximo
26.920.277	Médio

FONTE: AUTOR (2014)

A análise da geração de biogás das estações de tratamento de esgoto também utilizando a metodologia, proposta pelo (IPCC,1996) apresentou os dados utilizando a equação 5. O valor gerado teórico da DBO é segundo (ALVES E VIEIRA,1998) 18,25 kg de DBO / habitante. Ano é demonstrado na tabela 6.

TABELA 6 FATOR DE EMISSÃO

FATOR DE EMISSÃO SEGUNDO ALVES E VIEIRA (1998)	DBO TON/ANO
0,48 kg de metano / kg de DBO	5687

FONTE: ALVES E VIEIRA (1998)

A emissão de metano calculada é, portanto de proximamente de 2730 toneladas por ano calculadas a partir do fator de emissão multiplicado pela DBO.

A receita é calculada conforme o procedimento anterior gerando um volume total de biogás de 4963 ton/ano e um valor econômico de 6.893.055 reais. A análise da produção de biofertilizante utilizando a equação 7.

A produção de biofertilizante representa um total de 80% a 90% de toda a matéria orgânica utilizada durante o processo de obtenção do biogás segundo Santos (2012). Assim teremos os seguintes resultados da tabela 7:

TABELA 7 RESULTADO DA PRODUÇÃO DE BIOFERTILIZANTES

GERAÇÃO DE RESÍDUOS TON/ANO	TOTAL DE BIOFERTILIZANTE TON/ANO
Município Dados IBGE	45495
Município Dados Prefeitura	46040
Município Dados Ministério das Cidades	81892
Município Ministério das Cidades	105548
Estação Tratamento	2184

FONTE: AUTOR (2014)

Considerando o preço médio do biofertilizante como R$ 30,00 a tonelada e adotando-se os valore mínimos, máximo e médio somado ao biofertilizante gerado nas estações de tratamento terá os resultados na tabela 8. Nesta tabela a análise da geração de créditos de carbono pela captura do metano calculado pela equação 8 e com o resultado da soma da geração de resíduos sólidos e do tratamento de esgotos é apresentado.

TABELA 8 RESULTADO DA RECEITA GERADA BIOFERTILIZANTES

RECEITAS R$	DADOS
1.430.370	Minímo
3.231.960	Máximo
1.799.790	Médio

FONTE: AUTOR (2014)

O mercado de carbono funciona sob as regras do Protocolo de Quioto, onde existem mecanismos de flexibilização para auxiliar na redução das emissões de gases do efeito estufa através da comercialização de certificados de emissão de gases do efeito estufa em bolsas de valores, fundos ou através de brokers, aonde os países desenvolvidos, que tem que cumprir compromissos de redução da emissão desses gases, podem comprar créditos derivados dos mecanismos de flexibilização.

Esse processo de compra e venda de créditos se dá a partir de projetos, que podem ser ligados a reflorestamentos, ao desenvolvimento de energias alternativas, eficiência energética, controle de emissões e outros segundo o (INSTITUTO CARBONO BRASIL ,2014).

Considerando que o potencial de aquecimento global do metano é de 23, ou seja, seu potencial causador do efeito estufa é 23 vezes mais poderoso que o CO2 e utilizando um valor do crédito de carbono de R$ 5,00 segundo a Investing.com (2014) podemos calcular o valor dos créditos de carbono (tabela 9).

TABELA 9 RESULTADOS DOS CRÉDITOS DE CARBONO

RECEITAS R$	CRÉDITOS DE CARBONO	EMISSÃO DE METANO TON/ANO	DADOS
715.760	143152	6224	Mínimo
1.246.255	249251	10837	Máximo
930.005	186001	8087	Médio

FONTE: AUTOR (2014)

Utilizando o programa Biogás iniciou-se a parametrização das informações a fim de proceder ao cálculo da estimativa de geração de biogás.

A constante k foi sugerida pelo programa em função do clima do município em 0.08. Em seguida deve-se estabelecer a natureza orgânica do resíduo sólido de modo que se adotou o valor sugerido de 0.12.

Depois é estimado ano de abertura do aterro e o tempo de funcionamento do aterro. Foi estabelecido o ano de abertura de 2015 e o término em 2025.

Os dados populacionais foram estipulados em uma população de 311.611 habitantes segundo o (IBGE,2010) com uma taxa de crescimento populacional de 1,31%%, uma taxa de geração de resíduos de 0.90 e uma taxa de coleta de 88%%.

Deste modo obteve-se a tabela que mostra a evolução em função do ano da vazão de biogás e a geração de metano. Também se observa a quantidade de lixo gerado e coletado na tabela 10.

TABELA 10 DADO GERADOS SOBRE A VAZÃO E PRODUÇÃO DE METANO

ANO	VAZÃO (10^3 M^3/ANO)	METANO COLETADO (10^3 M^3/ANO)	POPULAÇÃO	LIXO GERADO (KG)	LIXO COLETADO (KG)	LIXO ACUMULADO (KG)
2015	2.500	1.875	315.69	284.123.794	250.028.94	250.028.938
2016	4.841	3.631	319.82	287.845.815	253.304.318	503.333.256
2017	7.035	5.276	324.01	291.616.596	256.622.604	759.955.860
2018	9.094	6.821	328.26	295.436.773	259.984.360	1.019.940.220
2019	11.029	8.272	332.56	299.306.995	263.390.155	1.283.330.376
2020	12.849	9.637	336.92	303.227.916	266.840.566	1.550.170.942
2021	14.565	10.924	341.33	307.200.202	270.336.178	1.820.507.120
2022	16.184	12.138	345.80	311.224.525	273.877.582	2.094.384.702
2023	17.714	13.286	350.33	315.301.566	277.465.378	2.371.850.080
2024	19.163	14.372	354.92	319.432.016	281.100.174	2.652.950.254
2025	20.538	15.403	359.57	323.616.576	284.782.587	2.937.732.841

FONTE: AUTOR (2014)

Observa-se no ano de 2025 há um máximo de geração de metano com 15.403x10³ m³/ano sendo que após este ano há uma queda progressiva até o ano de 2039.

Utilizando-se o mesmo procedimento para cálculo da receita podemos projetar os valores financeiros obtidos nos 10 anos projetados para funcionamento do aterro (tabela 11).

TABELA 11 RESULTADOS DA RECEITA GERADA ATRAVÉS DO PROGRAMA BIOGÁS

ANO	METANO COLETADO (10³ M³/ANO)	RECEITA (R$)
2015	1.875	6.784.090
2016	3.631	13.137.618
2017	5.276	19.089.527
2018	6.821	23.800.400
2019	8.272	29.929.600
2020	9.637	34.868.418
2021	10.924	39.925.018
2022	12.138	43.917.490
2023	13.286	48.071.163
2024	14.372	52.000.509
2025	15.403	55.730.854

FONTE: AUTOR (2014)

O valor inicial é bem menor que o calculado usando a primeira metodologia o que pode gerar uma estimativa muito acima do valor real.

Como os resultados obtidos do programa Biogás estão bem melhor parametrizados e que na primeira metodologia.

É usada uma forma simplificada que pode gera esta discrepância. A quantidade de créditos de carbono também pode ser estimada pelo programa Biogás.

Adotando-se o valor de 5 reais por crédito de carbono é obtido o valor máximo no ano de 2026 com R$ 1.200.000 de créditos disponíveis para venda.

O programa Biogás totaliza os valores de créditos de carbono no período de funcionamento do aterro de modo que os dados extraídos do programa revelaram um crédito de carbono acumulado em 10 anos de R$ 10.862.567,00 com uma produção total de gás metano de 103.453 toneladas.

Outro resultado obtido é a potência disponível a partir do biogás disponível na tabela 12.

TABELA 12 RESULTADO DA SIMULAÇÃO DA POTÊNCIA GERADA

ANO	POTÊNCIA (KW)	POTÊNCIA (M³/H)	POTÊNCIA (MMBTU/H)
2015	2.113	241	7.209
2016	4.091	467	13.958
2017	5.945	679	20.284
2018	7.684	877	26.220
2019	9.319	1.064	31.798
2020	10.857	1.239	37.047
2021	12.307	1.405	41.993
2022	13.675	1.561	46.661
2023	14.968	1.709	51.073
2024	16.193	1.848	55.251
2025	17.354	1.981	59.214

FONTE: AUTOR (2014)

Utilizando as informações da potência podemos relacionar com usos externos do biogás como o abastecimento de residências ou como substituto do gás de cozinha.

No programa Biogás é possível realizar esta comparação e considerando o potencial energético do biogás aonde uma residência precisa de 200 kWh por mês de eletricidade enquanto o comércio necessita de 1000 kWh por mês obtemos a tabela 13.

TABELA 13 RESULTADO DO USO EXTERNO DO BIOGÁS EM RESIDÊNCIAS EQUIVALENTES

POTÊNCIA KW.H	RESIDÊNCIAS ABASTECIDAS	COMÉRCIO ABASTECIDOS
Ano 2015 = 1521360	7606	1521
Ano 2025 = 12494880	62474	12494

FONTE: AUTOR (2014)

Podemos notar que no primeiro ano de funcionamento mais de 7000 casas poderiam ser abastecidas com o biogás produzido enquanto em 2025 quando há o pico de produção, mais de 60.000 residências poderiam ser abastecidas.

Outra forma de venda do biogás é como gerador de energia como em botijões de gás. Sendo que 1 botijão P13 equivale a 16 m^3 CH_4/mês teremos a tabela 14.

TABELA 14 RESULTADO DO USO EXTERNO DO BIOGÁS EM BOTIJÕES EQUIVALENTES

METANO GERADO/MÊS	NÚMEROS DE BOTIJÕES DE GÁS EQUIVALENTES
Ano 2015 = 156250	9765
Ano 2025 = 1283583	80223

FONTE: AUTOR (2014)

Portanto uma produção de 80.223 botijões seria possível no ano de 2025.

Todos estes dados levam a observar as vantagens de se produzir biogás e biofertilizantes a partir de resíduos sólidos municipais.

Ambientalmente a (METHANE TO MARKETS,2010) cita que o consumo direto médio de 615 m^3/h é equivalente ao plantio anual de 4.900 hectares de árvores, a eliminação anual das emissões de CO_2 de 9.000 automóveis, a prevenção anual do uso de 99.000 barris de petróleo, a prevenção anual do uso de 200 vagões de carvão e ao fornecimento de eletricidade a 650 casas por ano.

A estimativa de valores para a instalação de projetos para produção de biogás foi realizada conforme dados da (METHANE TO MARKETS, 2008).

Porém esta estimativa varia muito em função de diversos fatores como o local de instalação, forma de uso entre outras.

O programa Biogás também permite a estimativa de custos de projetos de instalação, no entanto esta opção não foi utilizada neste trabalho.

Adotando-se o uso direto do biogás conforme os dados obtidos destas referências teriam para o nosso caso a produção máxima de metano em 2025 com uma capacidade projetada de 1398.81 ft^3/min suficiente para gerar a tabela 15 com a estimativa de custos para implantação de um projeto de instalação.

TABELA 15 ESTIMATIVA DE CUSTOS DE UM PROJETO DE INSTALAÇÃO

COMPONENTE	CUSTO
Custo dos equipamentos instalados	R$ 2.167.830,00
Custo do gasoduto de 5 km	R$ 1.782.000,00
Custo de Operação Anual	R$ 25.174,00
Custo Total	R$ 3.949.830

FONTE: AUTOR (2014)

Esta informação do custo total poderá ser usada para a análise de investimento. (RIBEIRO, 2010) comenta que o VPL, em inglês chamado de NPV – Net Present Value, é considerado uma técnica sofisticada de análise de investimento sendo obtido descontando o fluxo de caixa a uma taxa especificada trazendo dessa forma, todos os valores para a situação inicial – a um valor presente líquido.

A taxa especificada normalmente corresponde a uma de retorno mínimo que deve ser obtido por um projeto sendo considerado viável quando o resultado do cálculo for maior do que zero, pois isso quer dizer que o projeto dará um retorno maior do que a taxa especificada.

Utilizando um custo de oportunidade de 15% e os dados da figura 1 poderemos observar na figura 2, os resultados do VPL. Percebe-se que o payback do projeto é inferior a 1 ano e a rentabilidade no sexto ano de 14.55 % o que indica a viabilidade do projeto-exemplo.

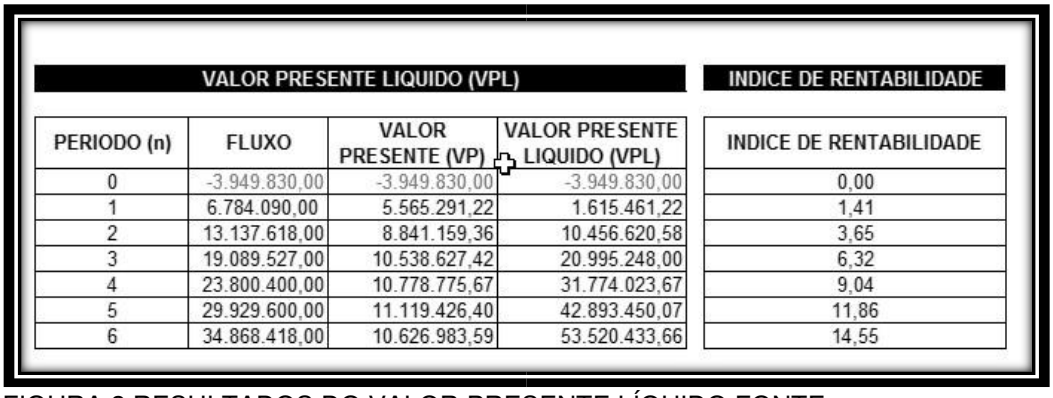


DADOS

CUSTO DE OPORTUNIDADE - REAL (r)	15,00%
INFLACAO	6,00%
CUSTO DE OPORTUNIDADE - NOMINAL (i)	21,90%
PERIODO DE PROJECAO (n)	6

FLUXO DE CAIXA	
Investimento inicial (CFo)	-3.949.830,00
Fluxo de Caixa 1 (CF1)	6.784.090,00
Fluxo de Caixa 2 (CF2)	13.137.618,00
Fluxo de Caixa 3 (CF3)	19.089.527,00
Fluxo de Caixa 4 (CF4)	23.800.400,00
Fluxo de Caixa 5 (CF5)	29.929.600,00
Fluxo de Caixa 6 (CF6)	34.868.418,00

FIGURA 1 DADOS DA ANÁLISE DE INVESTIMENTO
FONTE: AUTOR (2014)



VALOR PRESENTE LIQUIDO (VPL) / INDICE DE RENTABILIDADE

PERIODO (n)	FLUXO	VALOR PRESENTE (VP)	VALOR PRESENTE LIQUIDO (VPL)	INDICE DE RENTABILIDADE
0	-3.949.830,00	-3.949.830,00	-3.949.830,00	0,00
1	6.784.090,00	5.565.291,22	1.615.461,22	1,41
2	13.137.618,00	8.841.159,36	10.456.620,58	3,65
3	19.089.527,00	10.538.627,42	20.995.248,00	6,32
4	23.800.400,00	10.778.775,67	31.774.023,67	9,04
5	29.929.600,00	11.119.426,40	42.893.450,07	11,86
6	34.868.418,00	10.626.983,59	53.520.433,66	14,55

FIGURA 2 RESULTADOS DO VALOR PRESENTE LÍQUIDO FONTE:
AUTOR (2014)

3. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste trabalho nos mostram que o biogás pode ser aproveitado como uma fonte local de combustível e para a geração de eletricidade a baixo custo sendo uma fonte renovável de energia com fornecimento constante, auxiliando a reduzir emissões de poluentes para a atmosfera. Os recursos não renováveis

podem ter sua vida útil prolongado pela substituição do biogás com a redução do custo destes recursos. Do ponto de vista socioeconômico e ambiental, a produção de energia e biofertilizantes através do biogás proveniente de resíduos sólidos pode proporcionar uma significativa oportunidade para a comercialização da energia, biofertilizantes e créditos de carbono por meio de órgãos públicos como as prefeituras municipais que controlam os aterros sanitários ou investidores privados que desejam atuar neste tipo de serviço.

4. REFERÊNCIAS

MACHADO, P.A.L. ***Direito Ambiental Brasileiro***. 18. Ed. São Paulo: Malheiros, 2010.

CARVALHO, T.M.P. **O potencial da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos no Brasil**.VII CONNEPI. Palmas de Tocantins.2012.

LIMA, A.K.C. L, BERNSTEIN A. VALLE T.F. **Aproveitamento energético do biogás a partir de resíduos sólidos**. Educação Pública CECIERJ. Rio de Janeiro.2014.

CEMPRE. COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM (CEMPRE). **Política Nacional de Resíduos Sólidos: a lei na prática**. São Paulo: CEMPRE; 2011.

CEMPRE. **LIXO Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. São Paulo: IPT; 1995.

MARTINS FRANCO, DE OLIVEIRA, A.V.PAULO. **Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.31, n.3, p.477-486, maio/jun.2011

LEAL, C.L. V CELSO, BRITO, CALVACANTI, A.C.ALAN. **Análise do custo de geração de energia elétrica pela unidade de disposição final de RSU de Macapá.** IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-Americana da ISES – São Paulo, 18 a 21 de setembro de 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. ICLEI – BRASIL. **Planos de gestão de resíduos sólidos: Manual de Orientação**. Brasília,2012.

ICLEI – BRASIL. **Governos Locais pela Sustentabilidade Manual para aproveitamento do biogás: Volume um, Aterros Sanitários.** São Paulo, 2009.

JORDAN, R. A; CORTEZ, L. A.B.; NEVES FILHO, L. C.; LUCAS Jr, J. **Bomba de calor água-água acionada a biogás para utilização em processo de aquecimento e resfriamento em laticínios**. Leite & Derivados. São Paulo, p.52-64, 2003.

UNFCCC. 1997. **Kyoto Protocol to UNFCCC**. United Nations Framework Convention on Climate Change. Bonn, Germany, 1997.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PONTA GROSSA. **Secretaria da Indústria e Comércio**. Ponta Grossa.2014.de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, 2010.

SANTOS, A.F.S. **Estudo de Viabilidade de Aplicação do Biogás no Ambiente Urbano**. FUNDACE.Ribeirão Preto.2009.

ALVES, J. W. S., VIEIRA S. M. M. **Inventário Nacional de Emissões de Metano pelo manejo de resíduos - 1990 a 1994**. CETESB, 1998.

LEITE, L.E.C., MONTEIRO, J.H.P., **Aterros Sanitários e Créditos de Carbono: oportunidades para ajudar a resolver o problema ambiental. IBAM. Municípios.** Revista de Administração Municipal, jan., Rio de Janeiro: 2005.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE.**In: IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories**.IPCC,2000.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE.In: **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**.IPCC,2006.

IPCC. INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Módulo 6 – Lixo – Guia para InventáriosNacionais de Gases de Efeito Estufa**, Volume 2: Livro de Trabalho, de 1996.

CETESB - **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Inventário Estadual de Resíduos Domiciliares**. São Paulo, SP, 2004.

CETESB. **Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos 2012**. São Paulo-SP, 2013.

CETESB. **Programa Biogás 1.0**. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo, 1992.

PG AMBIENTAL. **Aterro Botuquara**. Ponta Grossa.2014.

PMGIRS. **Plano Municipal de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Prefeitura Municipal de Ponta Grossa. Secretaria Municipal de AGRICULTURA, Abastecimento e Meio Ambiente**. Ponta Grossa – PR, 2008.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2009**, 2011.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2010**, 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **In: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água, Esgotos e de Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos (2006).** CD-ROM – SNIS - Série Histórica 5. junho, 2006

IAP – INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Planilha de levantamento de dados sobre Resíduos Sólidos Urbanos**. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (Brasil) (ANP). **Anuário estatístico da indústria brasileira do petróleo e gás natural.** Rio de Janeiro, 2003.

METHANE MARKETS. **M2M Partnership – Methane to Markets**.2014

RIBEIRO, WANKES L. **Como calcular a viabilidade de um projeto utilizando técnicas de análise de investimento: Payback Simples, VPL e TIR**. 2010.