

APROVEITAMENTO DO BIOGÁS PROVENIENTE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: ESTUDO DE CASO EM SÃO PAULO

Vanessa Pecora*, Sílvia Maria Stortini González Velázquez**, Suani Teixeira Coelho***

*Engenheira Química, Mestre em Energia pelo Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) da Universidade de São Paulo (USP), Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO), vpecora@iee.usp.br

**Engenheira Química, Doutora em Energia pelo Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) da Universidade de São Paulo (USP), Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO), silvia@iee.usp.br

*** Engenheira Química, Doutora em Energia pelo Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) da Universidade de São Paulo (USP), Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO), suani@iee.usp.br

Resumo

O biogás, formado a partir da degradação da matéria orgânica, é composto por uma mistura de gases, sendo os principais componentes o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄), que é um gás de efeito estufa com potencial de aquecimento global cerca de 21 vezes maior se comparado ao CO₂. A produção do biogás é possível a partir de uma grande variedade de resíduos orgânicos como resíduos sólidos urbanos, resíduos de atividades agrícolas e pecuárias, suinocultura, lodo de esgoto, entre outros. Os aterros sanitários podem dispor de técnicas de captação do biogás produzido e sua posterior queima em *flare*, onde o metano é transformado em dióxido de carbono, minimizando o impacto ambiental. Além da oportunidade de reduzir os danos ambientais, o biogás pode ser utilizado como combustível na geração de energia elétrica, agregando desta maneira, ganho ambiental e redução de custos, devido à diminuição de compra da energia consumida da concessionária local. Neste contexto, este artigo apresenta o projeto de aproveitamento de biogás proveniente do tratamento de resíduos sólidos urbanos para geração de energia elétrica e iluminação a gás, desenvolvido pelo CENBIO. Este projeto encontra-se em desenvolvimento e os resultados obtidos fornecerão subsídios técnicos e econômicos para sua replicação.

Abstract

Utilization of the biogas proceeding from urban solid residues for electricity generation: case study in São Paulo. The biogas, generated from organic matter degradation, is composed by a mixture of gases, the main components being carbon dioxide and methane, which is a greenhouse effect gas with global warming potential around 21 times greater when compared to CO₂. Biogas production is possible from a great variety of organic residues such as urban solid residues, residues from agricultural and livestock activities, swine livestock, sewage mud, among others. The sanitary landfills may count on techniques of capture of the produced biogas and its later burning in flare, where the methane is transformed in CO₂, minimizing the environmental impact. Besides the opportunity of reducing the environmental damages, biogas can also be used as fuel for generating electricity, thus adding environmental gain and reduction of costs, due to the diminishing of purchase of the energy consumed in the concessionaire. In this context, this article presents the project of utilization of biogas proceeding from urban solid residues for electricity generation and gas illumination, developed by CENBIO. This project is currently in development and the obtained results will provide technical and economic subsidies for its replication.

INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos urbanos está diretamente relacionada com a população urbana, seu padrão de vida e hábitos de consumo. A coleta, tratamento e disposição adequada destes resíduos refletem a qualidade de vida da população, a qualidade das águas dos rios e águas subterrâneas, atividade pesqueira e vetores patogênicos.

Neste contexto, a disposição final do lixo urbano é um dos graves problemas ambientais enfrentados pelos grandes centros urbanos em todo o mundo e tende a agravar-se com o aumento do consumo de bens descartáveis, que passam cada vez mais a compor os grandes volumes de lixo gerados pela população. Segundo

Cetesb (2007), somente no Estado de São Paulo são geradas, diariamente, cerca de 29.000 toneladas de lixo, dos quais cerca 44,5 % são provenientes da cidade de São Paulo.

Dentre as várias alternativas conhecidas como a incineração, compostagem e reciclagem, a prática de utilização de áreas para aterramento do lixo ainda é a mais comum. Os aterros sanitários são locais adequados para a disposição final dos resíduos sólidos urbanos já que dispõem de técnicas corretas para a impermeabilização do solo, cobertura dos resíduos, captação do chorume¹, além da captação e queima do biogás.

A impermeabilização eficiente da base e da cobertura do aterro possibilita condições adequadas para a degradação da matéria orgânica, aumentando conseqüentemente a produção de biogás. Além disso, é uma maneira de minimizar contaminações tanto no solo como em lençóis freáticos (ENSINAS; BIZZO, 2003).

A concepção de aterros sanitários que visam, além do armazenamento correto do lixo, o aproveitamento do biogás gerado ao longo do tempo, possibilita maior eficiência na produção e captação do metano gerado na degradação da matéria orgânica presente nos resíduos.

O biogás captado do aterro pode ser queimado em *flare*, onde ocorre a transformação do metano em dióxido de carbono, ou então ser convertido em energia elétrica e/ou térmica. Além disso, o biogás pode ser utilizado em sistemas de iluminação a gás. A Figura 1 apresenta o sistema de captação do biogás e posterior geração de energia elétrica em um aterro sanitário.

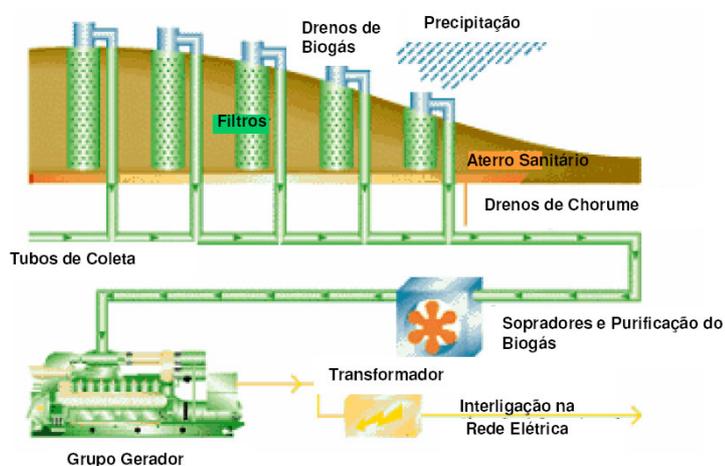


Figura 1. sistema de captação do biogás e geração de energia elétrica em aterro sanitário / biogas capture system and power generation in sanitary landfill.

Fonte: WILLUMSEN, 2001.

A energia elétrica gerada a partir do biogás pode ser consumida pelo próprio aterro ou, em caso de excedente de energia, pode ser comercializada, proporcionando uma receita adicional ao aterro. Além disso, há a possibilidade da comercialização dos créditos de carbono provenientes da transformação do metano em dióxido de carbono durante a queima do biogás, tanto no *flare* quanto no sistema de conversão energética.

OBJETIVOS

O objetivo deste artigo é apresentar o projeto financiado pelo (MME) Ministério de Minas e Energia que, atualmente, está em desenvolvimento pelo CENBIO: “Aproveitamento do Biogás Proveniente do Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos para Geração de Energia Elétrica e Iluminação a Gás”.

Os sistemas de geração de energia elétrica e de iluminação a partir do biogás estão implementados e em fase de testes no aterro da Essencis Soluções Ambientais – (CTR) Centro de Tratamento de Resíduos de Caieiras, localizado em Caieiras, São Paulo.

O sistema de iluminação a gás tem por objetivo iluminar a planta de biogás no período noturno, por meio de 7 postes automatizados contendo 4 pontos luminosos cada um. A tecnologia de conversão energética do biogás é um motor ciclo Otto adaptado de potência nominal de 200 kW.

MATERIAL E MÉTODOS

¹ Chorume: líquido proveniente da decomposição de resíduos orgânicos que se não for devidamente coletado, acarreta poluição dos recursos hídricos.

A poluição atmosférica caracteriza-se basicamente pela inserção de poluentes na atmosfera. Os poluentes são substâncias ou agentes físicos que provocam, de forma direta ou indireta, qualquer alteração ou efeito adverso no ambiente, seja nos ecossistemas ou na saúde humana. Na verdade, qualquer substância artificial, mesmo que inicialmente não poluente, se adicionada a um meio acima de sua capacidade assimilativa, pode se tornar, para este meio, um poluente (LIMA-E-SILVA et al., 2002).

O aquecimento global é o resultado do aumento da concentração na atmosfera de gases de efeito estufa pela ação do homem. Estes gases retêm o calor refletido pela superfície da Terra e estabelecem uma ameaça potencial a todos os ecossistemas naturais incluindo à sociedade humana.

Em face disto, em 1998, o (PNUMA) Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e a (OMM) Organização Mundial de Meteorologia constituíram o (IPCC) Intergovernmental Panel on Climate Change da (ONU) Organização das Nações Unidas, para apoiar com trabalhos científicos as negociações da (CQMC) Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, no âmbito da (ECO-92) Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, ocorrida no ano 1992 (PECORA, 2006).

Seguindo o princípio da responsabilidade comum, porém diferenciada, a CQMC define que o compromisso de redução das emissões globais não se dará de forma igual. Para isso foram estabelecidos dois grupos de países: os Países Anexo I (39 países industrializados) e os Países não-Anexo I (países em desenvolvimento), no qual o Brasil se inclui (NOVAGERAR, 2004).

Aos países do Anexo-I, em função de suas responsabilidades históricas e do alto grau de desenvolvimento, coube assumir compromissos e obrigação de redução das emissões. Os países não-Anexo I serão chamados, voluntariamente, para que suas emissões sejam reduzidas através da adoção de medidas apropriadas, contando para isso com recursos financeiros (créditos de carbono) e acesso à tecnologia (transferência de tecnologia) dos países industrializados. Como consequência dessa Convenção, e princípios nela estabelecidos, foi elaborado o Protocolo de Quioto, documento o qual define o comércio de emissões, como forma de mitigar o efeito estufa e fomentar o Desenvolvimento Sustentável ao longo de todo o planeta. No protocolo de Quioto foram definidas as regras e modalidades contidas no referido documento (NOVAGERAR, 2004).

Foram definidos três mecanismos de comercialização de emissões entre as partes: “Comércio de Emissões”, “Implementação Conjunta” e o “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo”, sendo apenas o último aplicável a países Não-Anexo I, como o Brasil (PECORA, 2006).

Para os cálculos demonstrativos de redução de emissão dos gases de efeito estufa, criou-se uma padronização a fim de regulamentar os resultados. Para tal o órgão mundial de maior fidedignidade é o IPCC da ONU.

Neste contexto, a metodologia para o cálculo de geração e utilização do biogás aqui apresentadas, segue este padrão.

O biogás gerado em aterros é um gás rico em metano (aproximadamente 50%). O metano é gerado durante a decomposição anaeróbica da matéria orgânica. Segundo estudos do IPCC, o metano tem um potencial de aquecimento global 21 vezes maior que o gás carbônico (IPCC, 1996). Portanto, a destruição do metano, que outrora seria lançado na atmosfera, é fundamental para a mitigação do efeito estufa.

Estudo de caso – aterro sanitário da Essencis – CTR Caieiras

O aterro da Essencis - CTR Caieiras iniciou suas atividades em 2002. Cerca de 55% do resíduo é orgânico, porém apenas 60% desse valor é degradável. O fluxo diário de resíduos atual é da ordem de 10.000 t/dia (sendo aproximadamente 80% domiciliar).

O aterro possui sistema de captação e queima do biogás. Este sistema inclui:

- 1 – Poços igualmente distribuídos no aterro para extrair biogás por exaustão forçada (pressão negativa) com sopradores;
- 2 – Rede de tubos conectados ao topo dos poços transportando o biogás até a unidade de tratamento;
- 3 – Equipamento para tratar o biogás antes de passar pelos sopradores e, então, ser enviado para queima.
- 4 – Cobertura integral de material impermeável, como PVC ou similar, sobre a massa de resíduos (eventualmente).

A Figura 2 representa o sistema de captação e queima do biogás no aterro.

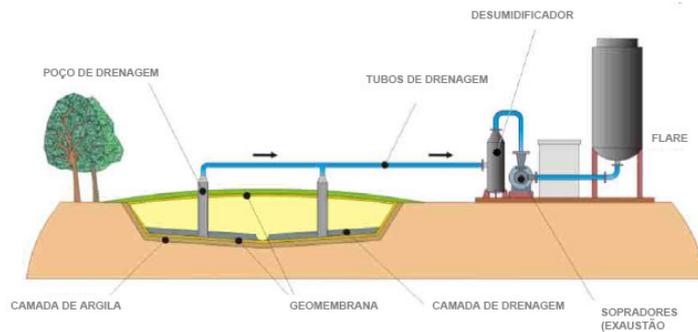


Figura 2 – estrutura técnica do sistema de captura e queima do biogás / technical structure of the system of biogas capture and burning.

Fonte: PDD (versão português), 2005.

Para a conversão energética do biogás, os motores de combustão interna possuem maior eficiência, além de serem mais baratos. Já as turbinas a gás possuem maior eficiência global de conversão, quando operadas em cogeração (calor e eletricidade), porém, por ser um equipamento importado, o seu valor e os custos de operação e manutenção são elevados. Além do custo do equipamento em si, a microturbina exige que o gás combustível apresente propriedades mais controladas que os motores convencionais (CENBIO, 2005).

Por se tratar de um projeto demonstrativo, o CENBIO optou pela instalação de um motogerador ciclo Otto adaptado, de potência nominal de 200 kW (Figura 3), para realização dos testes no aterro da Essencis – CTR Caieiras.



Figura 3 – motor ciclo Otto adaptado a biogás / Otto cycle engine adapted to be powered by biogas.

Fonte: CENBIO, 2009.

O sistema de automatizado de iluminação a gás, em fase de testes no aterro, conta com 7 postes de iluminação a biogás (Figura 4), implementados na planta de biogás da CTR Caieiras.



Figura 4 – sistema automatizado de iluminação a gás / automatized system of gas illumination.

Fonte: CENBIO, 2009.

Determinação do potencial de biogás

Para o cálculo do potencial de geração de biogás no aterro da Essencis – CTR Caieiras, foi utilizada a metodologia sugerida pelo IPCC, contida no Módulo 6 – Lixo, do Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, Volume 2: Livro de Trabalho, de 1996.

Para o cálculo da emissão de metano (CH₄) pode-se estimar o seguinte valor, pela Equação 5.4 do Guia do IPCC, 1995:

$$\text{DOC} = (0,4 \times A) + (0,17 \times B) + (0,15 \times C) + (0,3 \times D) \quad \text{Eq. (1)}$$

Em função das quantidades de alimentos e resíduos orgânicos estarem juntas, a equação foi modificada para a seguinte:

$$\text{DOC} = (0,4 \times A) + (0,16 \times (B + C)) + (0,3 \times D) \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

A: papel, papelão e tecido = 22,0%

B+C: alimentos e resíduo orgânico: 55,0%

D: madeira: 2,0%

Resultando em:

$$\text{DOC} = 0,174$$

Cálculo de L₀:

$$L_0 = \text{MCF} \times \text{DOC} \times \text{DOC}_f \times F \times 16/12 \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde:

MCF = 1 (aterro bem gerenciado)

DOC = 0,174

DOC_f = 0,77 (fração altamente biodegradável no resíduo Brasileiro)

F = 40 % (medições in loco mostraram 40 % de CH₄ presente no biogás, com pouca diluição de ar)

¹⁶/₁₂: conversão de carbono para metano

Resultando:

$$L_0 = 0,071 \text{ Gg CH}_4 / \text{Gg de resíduo}$$

Considerando a densidade do CH₄ (0 °C e 1,013 bar) como 0,0007168 t/m³, tem-se:

$$L_0 = 99,69 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / \text{tonelada de resíduo}$$

A emissão de metano pode ser calculada de acordo com as equações 4 e 5.

$$\text{LFG} = k \times R_x \times L_0 \times e^{-k(x-T)} \quad \text{Eq. (4)}$$

$$k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$

$$\text{Eq. (5)}$$

Onde:

LFG = emissão de metano (m³CH₄/ano)

k = constante de decaimento (1/ano);

R_x = fluxo de resíduo no ano (kgRSD);

L₀ = potencial de geração de metano (m³biogás/kgRSD);

x = ano atual;

T = ano de deposição do resíduo no aterro; e,

t_{1/2} : tempo médio para 50% da decomposição = 9 anos

A Tabela 1 apresenta a vazão de metano (m^3/ano) no aterro da Essencis – CTR Caieiras, desde o ano de 2002 até 2040. A Figura 5 mostra o comportamento da vazão do metano durante esses anos.

Tabela 1 – vazão de metano (CH_4) / methane (CH_4) outlet

Ano	$\text{m}^3\text{CH}_4/\text{ano}$	$\text{m}^3\text{CH}_4/\text{h}$
2002	217.935,22	24,88
2003	1.478.436,72	168,77
2004	2.763.891,37	315,51
2005	4.713.617,87	538,08
2006	6.622.603,97	756,01
2007	12.487.039,01	1.425,46
2008	28.395.784,08	3.241,53
2009	40.456.778,23	4.618,35
2010	53.235.520,12	6.077,11
2011	62.185.802,93	7.098,84
2012	70.472.778,97	8.044,84
2013	78.145.606,01	8.920,73
2014	85.249.798,71	9.731,71
2015	91.827.498,64	10.482,59
2016	97.917.724,28	11.177,82
2017	103.556.602,39	11.821,53
2018	108.777.582,43	12.417,53
2019	113.611.634,87	12.969,36
2020	118.087.434,98	13.480,30
2021	122.231.532,89	13.953,37
2022	126.068.511,09	14.391,38
2023	129.621.130,28	14.796,93
2024	132.910.464,34	15.172,43
2025	123.060.450,37	14.048,00
2026	113.940.422,38	13.006,90
2027	105.496.280,99	12.042,95
2028	97.677.936,17	11.150,45
2029	90.439.010,02	10.324,09
2030	83.736.561,74	9.558,97
2031	77.530.832,90	8.850,55
2032	71.785.011,52	8.194,64
2033	66.465.013,81	7.587,33
2034	61.539.281,90	7.025,03
2035	56.978.596,71	6.504,41
2036	52.755.904,57	6.022,36
2037	48.846.156,76	5.576,05
2038	45.226.160,93	5.162,80
2039	41.874.443,52	4.780,19
2040	38.771.122,38	4.425,93

Fonte: elaborada pelos autores.

A quantidade de biogás a ser gerado em 2009 é de 40.456.746,00 m^3CH_4 , ou 4.618,35 $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{h}$, calculadas segundo a metodologia descrita anteriormente, obtida por meio do IPCC.

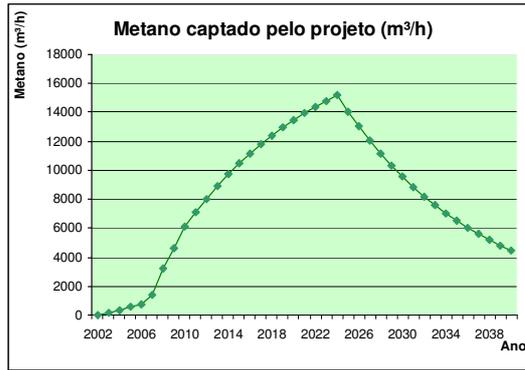


Figura 5 – comportamento da vazão de metano (CH₄) / behavior of the methane (CH₄) outlet.
 Fonte: elaborada pelos autores.

A curva tem um comportamento crescente durante a o período em que o aterro recebe lixo, pois a cada nova tonelada de lixo depositada, soma-se um novo potencial de geração de biogás. O ponto máximo da Figura 2 mostra o último ano de disposição do lixo no aterro e a partir daí a curva é regida pela constante de decaimento “k”, referente à degradação da matéria orgânica no tempo.

Determinação da potência e energia disponíveis

Para o cálculo da potência disponível foi utilizada a seguinte expressão:

$$P_x = \frac{Q_x \times P_{c_{\text{metano}}} \times \eta}{860.000} \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde:

- P_x : potência disponível a cada ano (kW)
- Q_x : vazão de metano a cada ano (m³CH₄/ano)
- P_c : poder calorífico de metano = 35,53.106 J/m³CH₄
- η : eficiência do motor = 0,28

Para o cálculo da energia disponível utiliza-se a seguinte expressão:

$$E = P \times \text{Rend} \times \text{Tempo de Operação} \quad \text{Eq. (7)}$$

Onde:

- E = energia disponível (MWh/dia)
- P = potência disponível (MW)
- Rend = rendimento do motor operando a plena carga = 87% = 0,87
- Tempo de Operação do motor = 24 (h/dia)

Assim, em função da vazão de metano, podem-se realizar os cálculos da potência (MW) e da energia (MWh/dia) disponíveis no aterro, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – potência e energia disponível em função da vazão de metano / available potency and energy due to the methane outlet

Ano	m ³ CH ₄ /ano	m ³ CH ₄ /h	Potência disponível (MW)	Energia disponível (MWh/dia)
2002	217.935,22	24,88	0,07	1,44
2003	1.478.436,72	168,77	0,47	9,75
2004	2.763.891,37	315,51	0,87	18,23
2005	4.713.617,87	538,08	1,49	31,09
2006	6.622.603,97	756,01	2,09	43,69
2007	12.487.039,01	1.425,46	3,94	82,37
2008	28.395.784,08	3.241,53	8,97	187,31
2009	40.456.778,23	4.618,35	12,78	266,87
2010	53.235.520,12	6.077,11	16,82	351,16
2011	62.185.802,93	7.098,84	19,65	410,20
2012	70.472.778,97	8.044,84	22,26	464,86
2013	78.145.606,01	8.920,73	24,69	515,48
2014	85.249.798,71	9.731,71	26,93	562,34
2015	91.827.498,64	10.482,59	29,01	605,73
2016	97.917.724,28	11.177,82	30,93	645,90
2017	103.556.602,39	11.821,53	32,72	683,10
2018	108.777.582,43	12.417,53	34,36	717,54
2019	113.611.634,87	12.969,36	35,89	749,42
2020	118.087.434,98	13.480,30	37,31	778,95
2021	122.231.532,89	13.953,37	38,62	806,28
2022	126.068.511,09	14.391,38	39,83	831,59
2023	129.621.130,28	14.796,93	40,95	855,03
2024	132.910.464,34	15.172,43	41,99	876,73
2025	123.060.450,37	14.048,00	38,88	811,75
2026	113.940.422,38	13.006,90	36,00	751,59
2027	105.496.280,99	12.042,95	33,33	695,89
2028	97.677.936,17	11.150,45	30,86	644,32
2029	90.439.010,02	10.324,09	28,57	596,57
2030	83.736.561,74	9.558,97	26,45	552,36
2031	77.530.832,90	8.850,55	24,49	511,42
2032	71.785.011,52	8.194,64	22,68	473,52
2033	66.465.013,81	7.587,33	21,00	438,43
2034	61.539.281,90	7.025,03	19,44	405,94
2035	56.978.596,71	6.504,41	18,00	375,85
2036	52.755.904,57	6.022,36	16,67	348,00
2037	48.846.156,76	5.576,05	15,43	322,21
2038	45.226.160,93	5.162,80	14,29	298,33
2039	41.874.443,52	4.780,19	13,23	276,22
2040	38.771.122,38	4.425,93	12,25	255,75

Fonte: elaborada pelos autores.

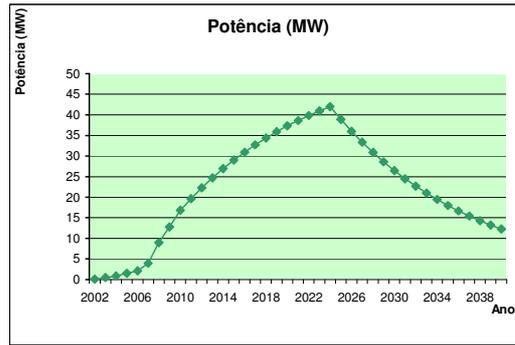


Figura 6 – potência disponível por ano / available potency per year.
 Fonte: elaborada pelos autores.

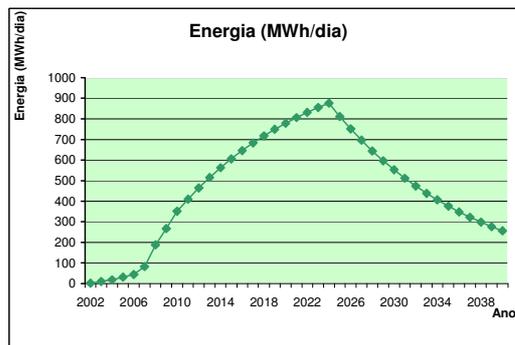


Figura 7 – energia disponível por ano / available energy per year.
 Fonte: elaborada pelos autores.

A potência e a energia previstas para o no ano de 2009 são, respectivamente, 12,78 MW e 266,87 MWh/dia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tecnologias convencionais para a transformação energética do biogás são as turbinas a gás, as microturbinas e os motores de combustão interna. De acordo com estudos realizados pelo CENBIO (2005), os motores ciclo Otto, além de apresentarem baixo custo quando comparados às turbinas e microturbinas a gás, possuem alta eficiência quando operados com biogás. O CENBIO optou pela instalação de um grupo gerador ciclo Otto de 200 kW, considerando, além das vantagens já mencionadas, a possibilidade de rápida instalação e facilidade de manutenção, visto que já é uma tecnologia existente no país. O início de operação do sistema está previsto para o mês de julho de 2009.

A partir de cálculos realizados, observou-se que a CTR - Caieiras tem potencial de geração de biogás suficiente para alimentar os sistemas de geração de energia elétrica e de iluminação a gás, visto que o consumo de biogás a ser consumido pelo sistema de geração de energia elétrica e iluminação a gás é de 76,76 m³h⁻¹ de metano, vazão menor que a estimada para 2009, cujo excedente continuará sendo queimado em flare.

Os postes de iluminação a gás, segundo o fabricante, consomem 0,40 m³/h de biogás por ponto luminoso. Estão instalados 7 postes, ainda em fase de testes, com quatro pontos luminosos cada, o que gerará consumo de biogás de 11,2 m³/h.

O grupo gerador instalado, também em testes no aterro, é de 200 kW, e o seu consumo será de aproximadamente 181 m³_{BIOGÁS}/h. Sendo assim, a soma do biogás a ser consumido é 192,2 m³/h.

Como a porcentagem de metano no biogás é 40%, tem-se um consumo de metano de aproximadamente 77 m³/h, resultando em excedente de 4.541,35 m³_{CH4}/h.

CONCLUSÕES

Os aterros sanitários representam uma das alternativas mais interessantes para a disposição final do lixo, considerando a captação do biogás e a possibilidade de geração de energia, onde o metano, principal constituinte

do biogás, é transformado em gás carbônico, com potencial de aquecimento global cerca de 21 vezes menor (EPA, 2008).

O desenvolvimento e a implementação de alternativas tecnológicas com vistas à geração de energia a custos reduzidos para esse segmento podem gerar impactos socioeconômicos e ambientais positivos, diminuindo a sobrecarga das concessionárias, além da diminuição da emissão de gases de efeito estufa. A utilização do biogás proveniente de aterro sanitário pode promover benefícios para o governo local, estimulando a adoção de práticas que maximizem a geração e a coleta do biogás e reduzam os riscos ambientais.

REFERÊNCIAS

CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. Projeto Instalação e Testes de uma Unidade de Demonstração de Geração de Energia Elétrica a partir de Biogás de Tratamento de Esgoto – ENERGBIOG. Relatório Técnico Final. São Paulo, 2005.

CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. Aproveitamento do Biogás Proveniente do Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos para Geração de Energia Elétrica e Iluminação a Gás. Relatório de Atividades. São Paulo, 2009.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Inventário Estadual dos Resíduos Sólidos Domiciliares. Relatório. São Paulo, 2007.

ENSINAS, A. V.; BIZZO, W. A. Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas – SP. Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Mecânica. Comissão de Pós- Graduação em Engenharia Mecânica, Dezembro de 2003.

EPA - Environmental Protection Agency. *Methane*. Disponível em: www.epa.gov/methane/. Acesso em: 03/2008.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, Módulo 6 – Lixo – Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa, Volume 2: Livro de Trabalho, de 1996.

LIMA-E-SILVA, P.P.; GUERRA, A.J.T.; MOUSINHO, P.; SOUZA JR., A.B. Dicionário brasileiro de ciências ambientais. 2. ed. Rio de Janeiro: Thex Ed., 2002.

NOVAGERAR. Projeto de conversão de gases de aterro em energia dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), 13 de outubro de 2004. Disponível em: [http://www.bayer.com.br/byee/home.nsf/04bbd938b0f97149c1256ac500564711/83256e850068df8283256f2e003d38c8/\\$FILE/projeto%20Pablo%20Fernandez.pdf#search=%22Projeto%20de%20convers%C3%A3o%20de%20gases%20de%20aterro%20em%20energia%20dentro%20do%20Mecanismo%20de%20Desenvolvimento%20Limpo%20\(MDL\)%22](http://www.bayer.com.br/byee/home.nsf/04bbd938b0f97149c1256ac500564711/83256e850068df8283256f2e003d38c8/$FILE/projeto%20Pablo%20Fernandez.pdf#search=%22Projeto%20de%20convers%C3%A3o%20de%20gases%20de%20aterro%20em%20energia%20dentro%20do%20Mecanismo%20de%20Desenvolvimento%20Limpo%20(MDL)%22). Acesso em dezembro de 2008.

PECORA, V. Implantação de uma Unidade Demonstrativa de Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás de Tratamento do Esgoto Residencial da USP – Estudo de Caso. 2006. 152 p. Dissertação de Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo - PIPGE.

PDD – Project Design Document, versão português. “Redução de Emissões de Gás de Aterro”. Documento de Concepção de Projeto (MDL DCP).– Caieiras, SP. Versão 2, 2005.

WILLUMSEN, H. C. Energy Recovery From Landfill Gas in Denmark and Worldwide. LG Consultant, 2001.