



III-173 - ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO ATERRO SANITÁRIO DE TIMBÓ/SC

Vivian Salzvedel Santangelo

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Débora Machado de Oliveira⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT). Mestre e Doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Vanessa Cristina Ferreira Dias

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Armando Borges de Castilhos Jr.

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC. Doutor em Gestão e Tratamento de resíduos pelo *Institut National des Sciences Appliquées* de Lyon, França. Pós Doutorado pela *Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris* – ISIGE/ENSMF. Coordenador do Laboratório de Pesquisas em Resíduos Sólidos – LARESO/UFSC.

Endereço⁽¹⁾: Centro Tecnológico, Campus Universitário – Trindade - Florianópolis – SC – Brasil CP. 476 CEP 88.040-970 - Brasil - Tel.: (+55) 48-3721.7754 - Fax: (+55) 48 3234 6459 e-mail: debora.machado@ens.ufsc.br

RESUMO

Devido às constantes crises no mundo causadas pela dependência de energias não renováveis, como o carvão, o petróleo e o gás natural, tem-se buscado diversificar as fontes primárias energéticas. Entre as alternativas que apresentam um interesse crescente está a exploração do biogás, produzido pela decomposição anaeróbia dos resíduos em aterros sanitários. Estudos mostram que a escolha da tecnologia de aproveitamento do gás na geração de energia depende da quantidade de gás disponível e seu aproveitamento pode reduzir vários riscos de contaminação ambiental, como mau cheiro, perigo de explosão, emissão de metano para a atmosfera (aquecimento global), além de outros riscos. Assim, o objetivo dessa pesquisa foi estimar a produção de biogás no aterro sanitário de Timbó/SC e avaliar o potencial de recuperação e aproveitamento energético. A metodologia proposta neste estudo utilizou um modelo teórico de estimativa como ferramenta de previsão do volume de biogás a ser gerado ao longo dos anos. O método utilizado foi o *School Canyon* através do programa *Landfill Gas Emissions Model* (LandGEM).

PALAVRAS-CHAVE: Aterro sanitário; Biogás, Energia Elétrica, Modelo *School Canyon*.

INTRODUÇÃO

Os resíduos orgânicos em aterros sanitários produzem consideráveis quantidades de metano CH₄, devido às condições de anaerobiose típica de aterros sanitários. Como resultado, as emissões de metano para a atmosfera têm sido assunto de freqüentes discussões acerca dos efeitos dos gases que contribuem para o aquecimento global.

Atualmente existem vários modelos disponíveis para calcular a produção de biogás em aterros sanitários. Todos esses modelos podem ser usados para desenvolver uma curva de geração de gás que prediz a geração deste por um determinado tempo. A produção total de gás e a taxa em que os gases são gerados podem variar um pouco com os diferentes modelos, mas o parâmetro de avaliação mais importante que é comum a todos os modelos é a quantidade do resíduo presumido passível de decomposição. Os outros parâmetros de avaliação podem variar dependendo do modelo usado e são influenciados por numerosas variáveis, incluindo os fatores que influenciam a geração de gás e as incertezas nas informações disponíveis sobre o aterro, bem como o manejo da extração de gás que afeta a geração de gás ao induzir qualquer infiltração de ar. Outro fator importante é a quantidade de tempo estimada entre a disposição do resíduo e o começo da decomposição anaeróbia ou fase metanogênica dentro da massa de resíduos (AUGENSTEIN, 1991).

Segundo Börjesson et al (2000) apud Brito Filho (2005), as modelagens são necessárias para entender três processos que são as *emissões de biogás* (o gás é transportado verticalmente através da cobertura ou através



do que se chama migração lateral), a *recuperação de biogás* mediante sua extração e a *oxidação do metano*. Estes três processos são a base dos modelos de extrapolação, que levam a estimação das emissões regional e global. Conforme Brito Filho (2005), os principais aspectos para a avaliação do gás de aterro são: Primeiro, calcular a quantidade de biogás que está sendo produzida num aterro e o segundo, porém mais importante, será avaliar a proporção de biogás que pode ser razoável e confiável obtida durante a longa vida de um projeto (acima de 20 anos).

Brito Filho (2005) diz ainda que os modelos matemáticos são ferramentas úteis e econômicas para avaliar o potencial de geração de gás em um aterro. Os resultados do modelo podem ser usados para avaliar o potencial de migração/emissões perigosas de gás, e para avaliar a viabilidade do projeto de gestão do gás.

Modelos cinéticos de primeira ordem são usados frequentemente para avaliar a produção de metano durante a vida de um aterro. Esses modelos são adaptados para aterros específicos por numerosas proposições sobre condições no aterro, variando em suas considerações, em sua complexidade e na quantidade de dados que necessitam. A seguir apresentam-se os métodos usados para estimativa da produção de biogás no aterro sanitário de Timbó-SC.

MATERIAIS E MÉTODOS

O método de previsão da geração de biogás, de primeira ordem, que tem sido utilizado em aterros sanitários europeus e norte-americanos, inclusive pela Agência de Proteção Ambiental Americana (US-EPA) é o modelo de decaimento de primeira ordem ou modelo *School Canyon*, por ser relativamente simples e objetivo (JUCÀ et al, 2005). A partir desse método, a USEPA criou programa conhecido como *Landfill Gas Emission Model* (LandGEM), usado para estimar o potencial de geração do gás metano e outros possíveis compostos presentes no gás de aterro.

O método *School Canyon* supõe que há uma fração constante de material biodegradável por unidade de tempo, o que poderia ser uma fonte de erro, pois a matéria orgânica é consumida durante o processo. Contudo, torna-se verdade quando o modelo é aplicado em aterros ainda em operação, caso do aterro de Timbó, onde tem uma alimentação diária de matéria orgânica, e ao mesmo tempo ocorre a decomposição dos resíduos dispostos em períodos anteriores.

Esse método pode ser usado quando se tem dados suficientes relacionados à disposição dos resíduos sólidos urbanos no local de destinação, levando em conta a quantidade de resíduo depositada em cada ano. Além disso, o modelo considera que há uma fração constante de material biodegradável no aterro por unidade de tempo, sendo definida pela equação 1.

$$Q_{CH_4} = L_o R (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (1)$$

Onde:

$Q_{(CH_4)t}$ = Produção de gás metano no ano corrente (m^3 /ano);

k = Constante da geração de metano (ano^{-1});

L_o = Potencial da geração de metano dos resíduos (m^3 /kg);

R = Taxa de deposição média anual de resíduo durante a vida útil do aterro (kg/ano);

c = Tempo desde o fechamento do aterro, ano (c = 0 para aterros ativos); e

t = Tempo desde o início de deposição do resíduo, ano.

A equação acima considera dois momentos distintos de geração de metano: o tempo que o aterro recebe os resíduos e o tempo após o fechamento do aterro. Enquanto o aterro recebe resíduo, a variável c será zero e o termo e^{-kc} será igual a 1 e o valor de R será a média de deposição de resíduo até o fechamento do aterro. Após o seu fechamento, o aterro continuará a gerar biogás e a variável c deverá ser considerada. O pico de geração de metano ocorre no ano em que o aterro será fechado (último ano que o aterro recebe resíduo).

A U.S. EPA designa valores pré-estabelecidos para cada um dos parâmetros a serem adotados para uma avaliação preliminar e conservadora do aterro. O modelo contém dois padrões de parâmetros: *Clean Air Act*



(CAA)¹, e inventory. O padrão CAA é baseado em regulamentações federais dos Estados Unidos para aterros sanitários podendo ser usado se o aterro é sujeito às exigências do controle destes regulamentos. Já o padrão inventory é baseado nos fatores de emissão do EPA's *Compilation of Air Pollution Emission Factors (AP-42)*² e pode ser usado para estimar a emissão gerada no caso de inventários de emissão. Para todos os parâmetros a serem adotados, existe também "user-specific" onde permite o usuário adotar valores de locais específicos.

Os parâmetros de entrada precisam ser selecionados com conhecimento das condições específicas do aterro e de sua localização geográfica. Na América Latina e Caribe (LAC), as diferenças no conteúdo orgânico dos resíduos, a presença de umidade, ou o grau ao qual o resíduo é compactado variarão e, na maioria dos casos, aumentará o potencial para a geração de biogás em relação aos resíduos tipicamente encontrados na América do Norte e na Europa.

Todos os parâmetros presentes nesse método dependem de fatores que são variáveis como, por exemplo, as condições climáticas, a umidade, a composição do RSD, a fração de metano no biogás, entre outros. Deparando-se com tal dificuldade, pois todos estes fatores podem mudar anualmente, decidiu-se adotar valores distintos de k e Lo para 3 cenários. Os valores dos parâmetros de entrada do LandGEM para cada cenário estão apresentados na tabela 01.

Tabela 1. Valores adotados para 3 cenários distintos estimados para o Aterro Sanitário de Timbó/SC

Parâmetros de entrada	CENÁRIOS		
	1 (conservador)	2 (intermediário)	3 (promissor)
Nome do aterro	Aterro Sanitário de Timbó/SC		
Ano de abertura	2003		
Ano de fechamento	2036		
k (ano ⁻¹)	0,06	0,075	0,09
Lo (m ³ CH ₄ /t RSD)	100	150	200
NMOC (ppmv)	600		
% de metano	50%		
Gases a serem avalizados	Biogás e Metano		
Quantidade de resíduos depositados por ano	Valores reais obtidos até 2006 e projetados de 2007 até 2036 (ano fechamento)		

Os valores sugeridos de k para a elaboração dos cenários são baseados na composição dos resíduos que são depositados no aterro (resíduos considerados, portanto, moderadamente ou altamente degradáveis) e também para o caso do município de Timbó/SC, onde a pluviosidade é superior a 1.000 mm/ano, valores de 0,06 ano⁻¹, 0,075 ano⁻¹ e 0,08 ano⁻¹ que são, respectivamente, os valores de mínimo, médio e máximo de k considerados na construção dos cenários (curvas).

Para adoção dos valores de k citados anteriormente considerou-se também que o valor padrão de k utilizado pela USEPA (BANCO MUNDIAL, 2003) para lugares com precipitação acima de 635 mm por ano é 0,05 ano⁻¹ e o aterro sanitário de Timbó tem um índice pluviométrico maior que o dobro do valor citado pela USEPA. Contudo para o cenário mínimo, adotou-se valor de k superior ao 0,05 ano⁻¹.

Para Lo utilizou-se os valores 100, 150 e 200 m³CH₄/t de RSD para a obtenção das curvas de mínima, média e máxima geração de metano, respectivamente. Como no aterro estudado não existe co-disposição, adotou-se o valor de 600 ppmv conforme *User's Guide LandGEM Version 3.02* (2005). A fração considerada de metano

¹ *Clean Air Act* é a lei federal detalhada que regula emissões no ar em fontes estacionária e em fontes móveis. Esta lei autoriza a agência de proteção ambiental dos ESTADOS UNIDOS a estabelecer os padrões de qualidade ambientais nacionais do ar para proteger a saúde pública e o ambiente.

² *Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP-42)*, Volume 1: Stationary Point and Area Sources, Chapter 2.4: Municipal Solid Waste Landfills. EPA, office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, NC.
<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch02/final/c02s04.pdf>

presente no biogás foi de 50%. O resíduo disposto anualmente é variável e depende de fatores como a taxa de crescimento populacional, taxa de RSD produzido por habitante ao ano e da porcentagem de resíduos que é coletada e disposta no aterro.

RESULTADOS

Com a aplicação dos três cenários propostos para a estimativa da produção de biogás no aterro sanitário de Timbó/SC, obteve-se as curvas apresentadas na figura 1.

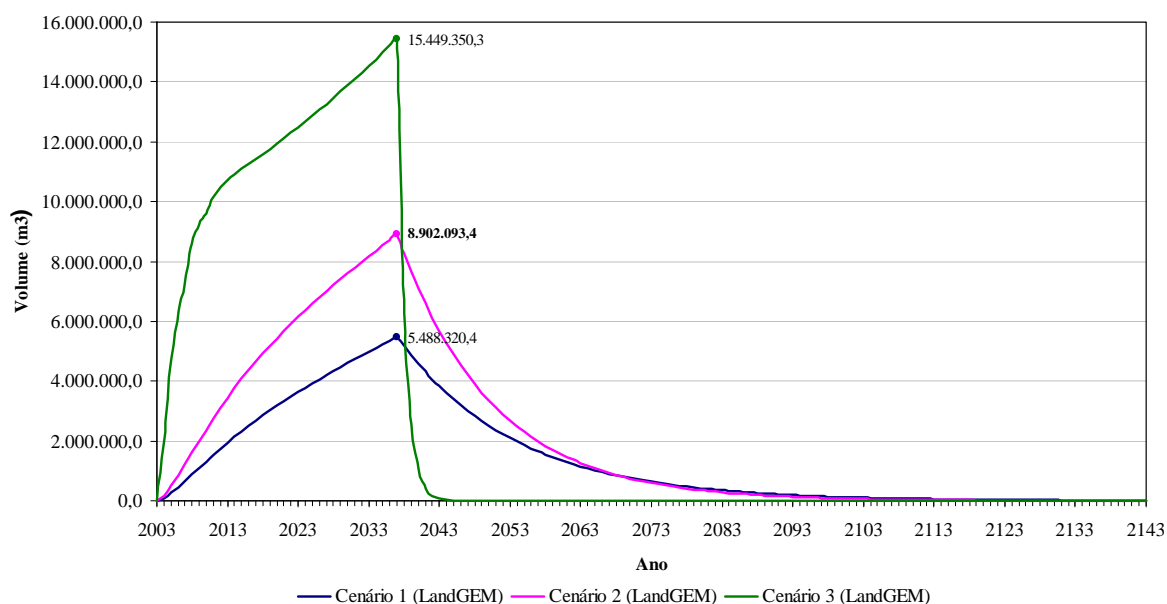


Figura 1. Estimativa da geração de biogás no aterro sanitário de Timbó/SC para 3 cenários

Observa-se nesta curva de estimativa que no ano de 2037, um ano após encerramento do aterro, ocorrerá a maior geração de biogás e conseqüentemente maior geração de metano, devido ao aterro ter atingido sua capacidade máxima de deposição de resíduos durante a vida útil projetada para o mesmo. Outro fator interessante a ser observado é que altos valores de L_0 e k apresentam grandes vazões anuais de metano resultando em curvas com inclinações mais acentuadas, tanto durante a vida útil do aterro quanto após seu fechamento, e valores de L_0 e k mais baixos, geram uma quantidade menor de metano, porém por um maior período de tempo.

O método de decaimento de primeira ordem, neste caso o *School Canyon*, considera que o gás gerado na decomposição da matéria orgânica tem maior nível de geração nos primeiros dias de aterramento, sendo reduzido com o passar do tempo. Um dos grandes erros do modelo é não considerar as fases iniciais de decomposição da matéria orgânica cuja vazão de metano é baixa e a concentração menor que 40%. Este fato pode ser observado nas planilhas dos resultados gerados pelo LandGEM, onde verifica-se que desde o início da deposição dos resíduos, o programa considera taxa de geração de metano constante.

Neste estudo considerou-se que os valores obtidos no cenário 2 do método *School Canyon* como o cenário que melhor representa a geração de biogás no aterro sanitário de Timbó, e a partir desta curva, adotou-se uma eficiência de coleta para esses gases na ordem de 75%, considerando o projeto do aterro e sua operação. Os volumes de biogás e metano passíveis de serem recuperados e aproveitados são apresentados na figura 2.

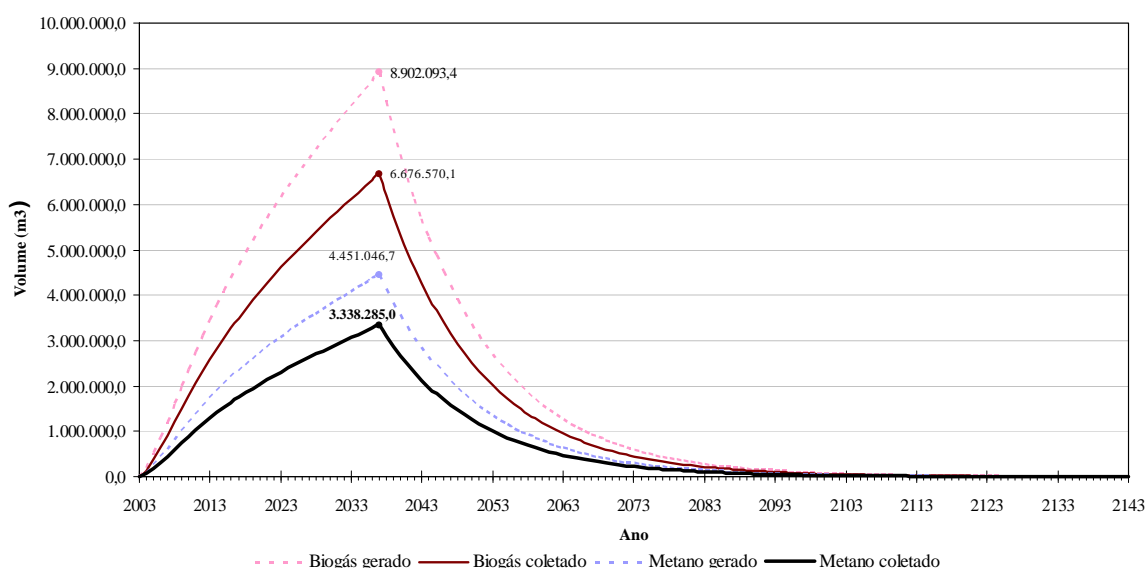


Figura 2. Potencial de geração e coleta de biogás e metano no aterro sanitário de Timbó/SC.

Tomou-se como base para o cálculo de aproveitamento energético, o volume de gás metano passível de ser coletado em cada ano. Considerou-se ainda, que o metano passou por um processo de separação e purificação, fornecendo assim um combustível de PCI de 35,53 MJ/m³ (8.500 kcal/m³). Para a realização da estimativa da potência elétrica disponível através do metano, utilizou-se a equação 2:

$$P_{ano} = \frac{Q_{CH_4} \cdot PCI_{CH_4} \cdot 4,1868}{31.536.000} \quad (2)$$

Onde:

Pot_{ano} : potência disponível a cada ano (kW);

Q_{metano}: vazão do metano a cada ano (m³ CH₄/ano);

PCI_{metano}: poder calorífico inferior (kJ/m³ CH₄);

4,1868: fator de conversão de “kcal” (quilo caloria) para “kJ” (quilo Joule);

31.536.000: fator de conversão (s/ano).

Adotou-se também, um rendimento de 30% de um gerador qualquer, baseado no valor médio de eficiência elétrica das tecnologias de conversão, para o cálculo do potencial energético útil conforme apresentado na figura 3.

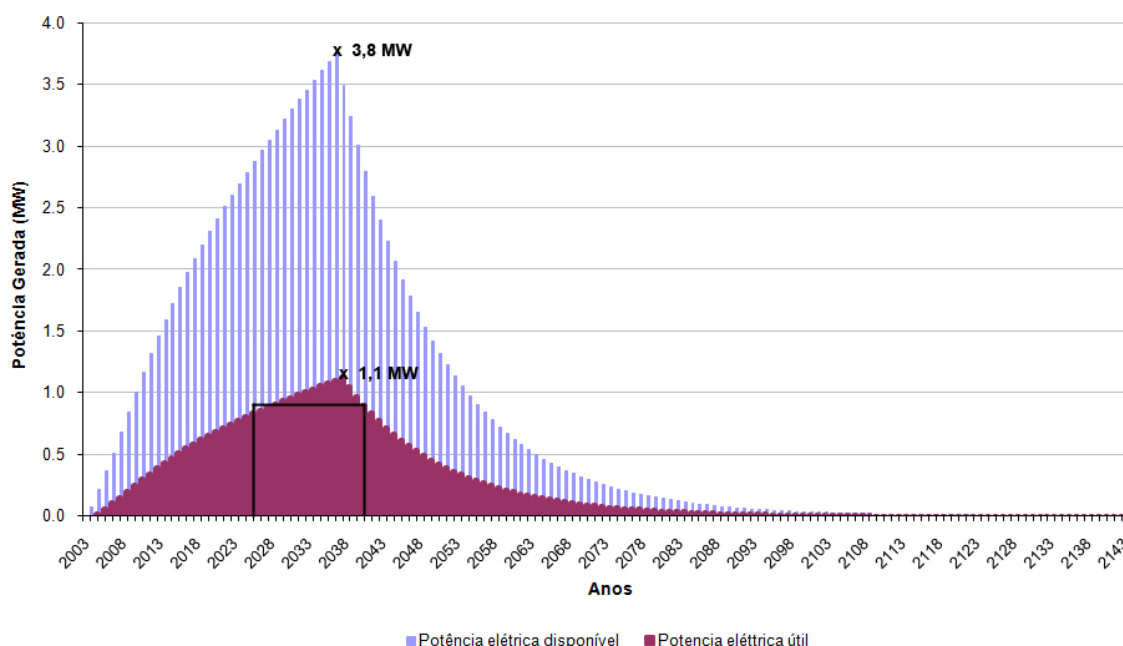


Figura 3. Estimativa da potência elétrica disponível e potência útil no aterro sanitário de Timbó.

Desta forma, estimou-se uma potência elétrica útil de 3,8 MW para o ano de maior produção (2037). Porém, para efeito de projetos de aproveitamento de biogás em aterros com o objetivo de gerar energia elétrica devem considerar o fato da produção de biogás ser variável ao longo do tempo. Para este propósito estimou-se uma potência elétrica útil (1,1 MW) durante os anos de 2026 a 2040, energia esta suficiente para abastecer 2.200 residências com um consumo médio de 300 kWh/mês.

CONCLUSÕES

O estudo mostrou que o aterro sanitário de Timbó possuirá um potencial elétrico disponível de aproximadamente 3,8 MW em 2037. Os projetos de aproveitamento de biogás em aterros com o objetivo de gerar energia elétrica devem considerar o fato da produção de biogás ser variável ao longo do tempo. Portanto para o aterro sanitário de Timbó/SC, considerando a potência elétrica útil máxima estimada de 1,1 MW, sugere-se como alternativa ao aproveitamento do biogás a instalação de uma usina modular de geração de energia elétrica. As unidades modulares do sistema gerador tornam possível a adaptação do equipamento para os volumes de gás específicos do local. Conforme os volumes de gás diminuem com o tempo, os módulos podem ser recolocados em outros locais. O método apresentado neste trabalho é uma estimativa teórica, indiretamente baseada em parâmetros obtidos de aterros sanitários europeus e norte-americanos. Vale salientar que uma melhor forma de avaliar o potencial de um aterro específico seria através da realização de pesquisas e medições de campo da quantidade de biogás e concentração presente de metano, direcionadas para implantação de um projeto específico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BANCO MUNDIAL, Manual para a preparação de gás de aterro sanitário para projetos de energia na América Latina e Caribe, 2003.
2. BRITO FILHO, L. F., Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.
3. GUZZONE, B.; MULLER, D.; STEGE, G.A. *User's Manual México Landfill Gas Model*. 2003
4. TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H. & VINIL, S. *Integrated solid waste management. Engineering principles and management issues*. Irwin MacGraw-Hill. 1993.