

III-147 – ESTUDO COMPARATIVO DA GERAÇÃO DE GÁS METANO ESTIMADO POR MODELAGEM MATEMÁTICA COM DADOS REAIS MEDIDOS EM CAMPO NO ATERRO SANITÁRIO DE RIO CLARO – SP

Marcus Cesar Avezum Alves de Castro⁽¹⁾

Graduação em Engenharia Mecânica (EESC-USP). Mestrado e Doutorado em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo. Professor assistente (RDIDP) do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho-UNESP-Rio Claro.

Natasha Pereira Marques⁽²⁾

Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho-UNESP-Rio Claro.

Sarita Magnan Antonio⁽³⁾

Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho-UNESP-Rio Claro.

Nelson Callegari Júnior⁽⁴⁾

Bacharel em Física pela Universidade Federal de São Carlos, mestre e doutor em Ciências pela USP na área de Astronomia.

César Augusto Moreira⁽⁵⁾

Bacharel em Geologia pela Universidade Estadual Paulista – UNESP. Mestre e Doutor em Geociências pelo IGCE/UNESP.

Endereço⁽¹⁾: Avenida 24A, 1515 – Bela Vista – Rio Claro – SP CEP: 13506-900 - Brasil - Tel: (19) 3526 - 9303 - e-mail: mccastro@rc.uesp.br

RESUMO

O uso da modelagem matemática auxilia na avaliação da capacidade de produção e quantificação do tempo de geração de biogás em aterros sanitários, os quais subsidiam estudos de viabilidade para a implantação de projetos de aproveitamento energético do metano. Assim, o trabalho desenvolvido tem como objetivo ajustar os valores de k e L_0 do modelo LandGEM de geração de metano para as condições brasileiras, utilizando como recorte o aterro municipal de Rio Claro-SP. Nesse sentido, foram gerados cenários com a combinação dos valores de k e L_0 , selecionados de acordo com as orientações do modelo, e alinhados as condições locais do aterro. Em seguida, os cenários de geração obtidos com a aplicação do modelo foram comparados com os dados de vazão de metano, medidos em campo nos drenos do aterro. O período pesquisado foi de maio a novembro de 2012. Como resultado observou-se que quando comparadas as características adotadas nos quatro cenários recomendados pela bibliografia da USEPA com as encontradas no aterro sanitário de Rio Claro (elevada quantidade de matéria orgânica do resíduo aterrado e a prática diária de recirculação do lixiviado), o cenário que melhor representou a taxa de geração de metano foi o cenário 01, com $k = 0,7$ e $L_0 = 96$.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos, Metano, Aterro Sanitário, Modelagem matemática.

INTRODUÇÃO

Os aterros sanitários, tanto do ponto de vista econômico como ambiental, são considerados a principal solução para a disposição dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, contudo, a disposição dos resíduos em aterros propicia a decomposição da matéria orgânica que gera subprodutos como os gases e o lixiviado que causam impacto ao meio ambiente. No Brasil, 7,8% do total de emissões de metano são provenientes do aterramento dos resíduos sólidos (MTC, 2009).

Neste sentido, a coleta e o aproveitamento do biogás, composto de aproximadamente 50% de gás metano (CH_4), que possui um elevado poder calorífico, consiste em uma fonte de energia e reduz os impactos ambientais.

A possibilidade de aproveitamento energético do gás metano gerado nos aterros sanitários é uma alternativa tanto para a diminuição da geração de gases que agravam o efeito estufa quanto para a utilização de fontes

alternativas de energia. Para viabilizar a implantação de projetos de geração de energia a partir do biogás, é necessária a utilização da modelagem como uma ferramenta capaz de avaliar não só a capacidade de produção, mas também quantificar o tempo de geração após o encerramento do aterro sanitário. Assim, a modelagem pode ser aplicada ao problema, com a finalidade de estimar a geração de gases, simulando cenários que permitam a avaliação do potencial energético de cada aterro.

No entanto, para CASTRO e BELLO (2010) a elevada porcentagem de material orgânico do resíduo brasileiro, associado à alta biodegradabilidade dos mesmos, cria condições favoráveis à produção de metano. Por outro lado, essas características dificultam a aplicação segura de modelos matemáticos para a estimativa do potencial de geração de gás metano, pois os modelos e as equações utilizadas foram calibrados e ajustados nas condições de estudos internacionais, o que gera diferenças notáveis nas características e nas condições de geração de gases dos aterros brasileiros. Os modelos apesar de apresentar parâmetros de ajustes às condições brasileiras, estes são pouco acurados.

Como exemplo de condições específicas do Brail, Antonio et al (2012) observou que a porcentagem de metano variou de 42% a 54% nos gases gerados em áreas com resíduos dispostos por aproximadamente 8 a 10 anos. Situação particular para as condições de resíduos com elevada quantidade de matéria orgânica.

Nesse sentido, o presente estudo utilizou os dados medidos em campo de vazão de metano como referência para a seleção de valores de k e L_0 utilizados para estimativa de geração de metano no modelo matemático Landfill Gas Emission Model (LandGEM). Além disso, realizou-se uma comparação dos valores gerados pela modelagem matemática com os valores reais de vazão obtidos em campo o que pode subsidiar estudos mais acurados sobre o potencial de aproveitamento energético dos gases gerados em aterros sanitários.

Este estudo foi realizado no aterro sanitário de Rio Claro-SP o qual possui área total de 141.637,68 m², sendo que aproximadamente 90.000 m² destinados à disposição de resíduos. O aterro recebe aproximadamente 192 toneladas de resíduos por dia e iniciou suas atividades em 2001, com previsão de encerramento para 2014 (SEPLADEMA - Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente de Rio Claro).

O presente estudo foi dividido em três etapas: 1) Coleta de dados em campo; 2) Escolha do modelo e análise do seu comportamento e; 3) Correlação dos dados de campo com os cenários USEPA, que são descritas a seguir.

MATERIAIS E MÉTODOS

PRIMEIRA ETAPA: COLETA DE DADOS EM CAMPO

A metodologia para a definição dos pontos de amostragem dos gases no aterro teve por princípio abranger todos os possíveis fatores que podem influenciar na composição e na vazão dos gases, como por exemplo: áreas do aterro sanitário com idades distintas de operação; distribuição uniforme ao longo da área de disposição de resíduos; áreas com recirculação do lixiviado e a vazão e a temperatura dos gases. Dessa maneira, as medidas de composição do biogás foram realizadas em 1/3 dos drenos existentes no aterro sanitário.

A medição da composição do biogás foi realizada pelo Instrumento portátil LANDTEC GEM-2000, o qual possui precisão de 3%. Esse aparelho fornece medidas de metano, gás carbônico, oxigênio e outros gases presentes no biogás (em porcentagem), pressão barométrica e relativa e, temperatura presentes no biogás analisado.

O procedimento utilizado para medir a concentração do biogás nos drenos selecionados foi inicialmente apagar a chama (Figura 1A), resfriar o dreno com água (Figura 1B), selar o dreno com plástico filme (Figura 1C) e após uma hora medir as concentrações de CH₄, CO₂ e O₂ e temperatura do biogás utilizando o equipamento LANDTEC GEM-2000 (Figura 1D).



Figura 1: Procedimentos para medição da concentração do biogás.

A vazão do biogás foi obtida a partir da medição da velocidade do biogás (m/s), utilizando o termo-anemômetro digital portátil TESTO modelo 405-V1, com precisão de 5%. Para a medição da velocidade do biogás foram confeccionados adaptadores com o objetivo de diminuir a área da secção do dreno e aumentar a velocidade do biogás e, ao mesmo tempo, diminuir a interferência do vento. (Figura 2).

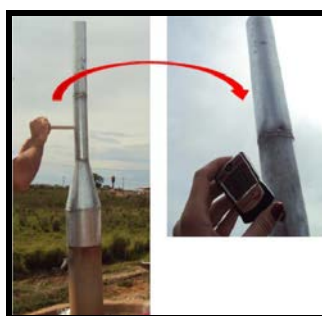


Figura 2: Medição da velocidade do biogás.

RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Os dados empíricos de vazão de gás metano presentes no biogás dos drenos analisados em campo são apresentados na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1: Dados de campo de valores de vazão de gás metano.

Data de Coleta	Drenos								
	28	19	29	11	5	1	3	7	8
03/05/2012	0,0191	0,0165	0,0239	0,0227	0,0139	0,0093	0,0086	0,0085	0,0077
17/05/2012	0,0178	0,0184	0,0062	0,0113	0,0066	0,0068	0,0042	0,0057	0,0034
31/05/2012	0,0264	0,0237	0,0054	0,0071	0,0066	0,0056	0,0037	0,0032	0,0021
14/06/2012	0,0152	0,0138	0,0041	0,0073	0,0056	0,0060	0,0034	0,0036	0,0019
28/06/2012	0,0139	0,0166	0,0036	0,0072	0,0071	0,0059	0,0011	0,0038	0,0020
12/07/2012	0,0166	0,0174	0,0036	0,0084	0,0056	0,0058	0,0006	0,0043	0,0026
26/07/2012	0,0184	0,0228	0,0041	0,0117	0,0056	0,0072	0,0036	0,0046	0,0035
09/08/2012	0,0142	0,0141	0,0044	0,0074	0,0047	0,0041	0,0002	0,0028	0,0022
22/08/2012	0,0087	0,0170	0,0014	0,0069	0,0051	0,0033	0,0003	0,0022	0,0021
05/09/2012	0,0088	0,0160	0,0071	0,0059	0,0060	0,0028	0,0011	0,0018	0,0026
03/10/2012	0,0088	0,0196	0,0077	0,0080	0,0082	0,0039	0,0020	0,0035	0,0021
17/10/2012	0,0110	0,0065	0,0065	0,0066		0,0035	0,0017	0,0020	0,0016
31/10/2012	0,0087	0,0170	0,0014	0,0069	0,0051	0,0033	0,0003	0,0022	0,0021
14/11/2012	0,0280	0,0154	0,0063	0,0037	0,0073	0,0047	0,0012	0,0020	0,0019
28/11/2012	0,0110	0,0138	0,0053	0,0044	0,0042	0,0032	0,0004	0,0018	0,0017

Fonte: Antonio et al (2012)

SEGUNDA ETAPA: ESCOLHA DO MODELO E ANÁLISE DO SEU COMPORTAMENTO

O modelo selecionado para a aplicação no presente projeto foi o LandGEM, desenvolvido pela USEPA. Este modelo é utilizado no presente trabalho por meio do programa “Biogás geração e uso energético – aterros”, desenvolvido pela parceria entre o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), a Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SMA) e a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), que utiliza a seguinte equação de primeira ordem:

$$Q_{CH_4} = k.R.L.e^{-k(x-1)} \quad \text{equação (1)}$$

Sendo:

Q_{CH_4} = vazão de metano gerado no ano x pelo RSD depositado no ano T (m³CH₄/ano)

k = constante de decaimento (1/ano);

Rx = fluxo de resíduos no ano x (tRSD);

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

T = ano de deposição do resíduo no aterro (ano);

x = ano atual (ano) (CETESB, 2006).

A constante k expressa a biodegradabilidade da parte orgânica dos resíduos. Assim quanto maior o valor de k, maior a geração de metano em um curto espaço de tempo. O “Lo” representa a quantidade de material orgânico presente nos resíduos, determina a capacidade potencial de geração do metano e depende apenas do tipo e da composição dos resíduos depositados no aterro.

O modelo descrito foi selecionado em função de sua aplicação pelo programa brasileiro Biogás – Aterro 1.0 e pela recomendação das agências do governo e órgãos ambientais do Brasil.

A USEPA apresenta valores diferentes de k para aterros com diferentes graus de umidade e de acordo com o objetivo de sua utilização. Aterros com maior umidade favorecem as reações metanogênicas e possuem um valor de k maior. Para aterros que realizam a recirculação de lixiviado na massa de resíduos, o valor de k é 0,7 1/ano, pois o aumento da umidade auxilia na degradação dos resíduos. Para sistemas áridos, com precipitação pluviométrica anual inferior a 500 mm, sugere-se o valor de 0,02 anos⁻¹ (SILVA, 2010). A Tabela 2 apresenta os parâmetros de k e L adotados pela metodologia LandGEM (USEPA).

Tabela 2: Valores da constante de biodegradação (k) e do potencial de geração do biogás (L0) do modelo LandGEM da USEPA.

Referência: LandGEM (USEPA)	k (ano ⁻¹)	L metano (Nm ³ /t RSU)
Dimensionamento de emissões (valor maior)	0,05	170
Dimensionamento realista		
Aterros convencionais	0,04	100
Aterros áridos	0,02	100
Aterros úmidos (recirculação de lixiviado)	0,70	96

Fonte: Adaptada de Silva (2010).

Assim, com a finalidade de avaliar a sensibilidade deste modelo matemático, frente às variações dos parâmetros k e L0 foram projetados quatro diferentes cenários recomendados pela USEPA. O cenário 01 considerando as melhores condições para produção de gás, os cenários 02 e 03 simulando condições intermediárias, e finalmente o cenário 04 simulando as condições mais desfavoráveis à produção de gás. Na Tabela 3 é apresentada a descrição das características do aterro para cada um dos cenários estudados.

Tabela 3: Descrição dos cenários estudados e variação determinada da constante de biodegradação (k) e do potencial de geração de biogás (L0)

Cenários	Descrição das características do aterro para os cenários	Constantes	
		k (ano ⁻¹)	L(Nm ³ /RSU)
01	Massa de resíduo úmida, em função de clima chuvoso e/ou recirculação diária de lixiviado.	0,7	96
02	Massa de resíduo com umidade acima do convencional, em local com clima tropical.	0,05	170
03	Massa de resíduo com umidade convencional, em local com estações do ano bem definidas.	0,04	100
04	Massa de resíduo com baixa umidade, poucas chuvas e temperaturas mais elevadas ao longo de todo ano.	0,02	100

A utilização do modelo para criação de cenários requer, além dos parâmetros de entrada os valores de k e L0, os valores do fluxo de resíduos dispostos ao longo dos anos no aterro (tRSD). Para essa estimativa foi utilizado o histórico de disposição de resíduos no aterro fornecido pela prefeitura municipal de Rio Claro, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Fluxo de disposição de resíduos no aterro municipal de Rio Claro de 2001 a 2012.

Ano	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Quant. de Resíduos (t/ano)	17000	22000	26050	31900	36000	42120	45698	47128	49560	56264	67024	23438

Fonte: Secretaria de Planejamento e de Meio Ambiental de Rio Claro- SEPLADEMA

RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

Na Figura 3 são apresentados os resultados das projeções de cenários com os valores recomendados pela literatura da USEPA.

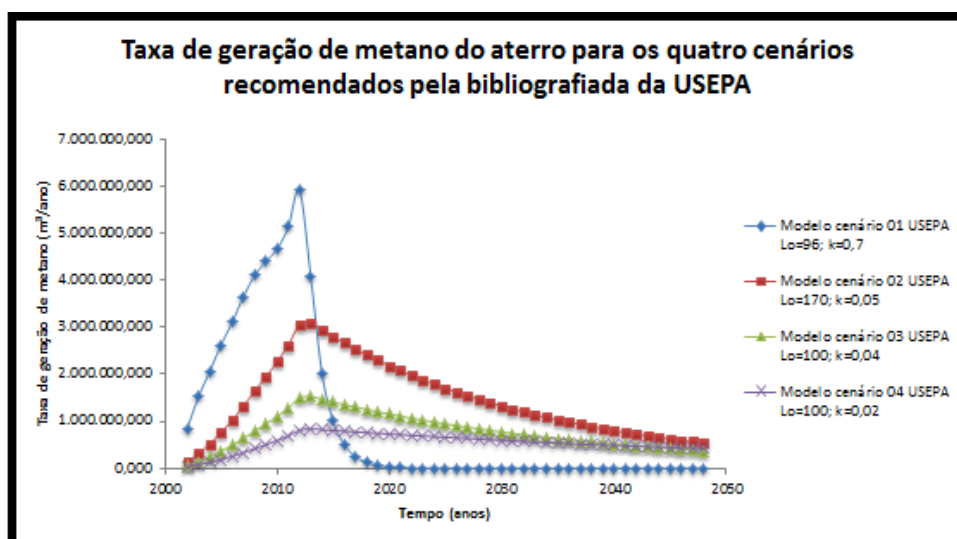


Figura 3: Projeção dos quatro cenários recomendados pela literatura da USEPA para estimativa da taxa de geração de metano no aterro sanitário de Rio Claro.

Observa-se que o pico de geração de metano, em todos os cenários, coincide com o ano do encerramento da área do aterro considerada, 2012. Isso ocorre porque o modelo considera que no ano de encerramento da vida

útil, a quantidade disposta de resíduos é máxima, acarretando em um maior potencial de geração (L0), desconsiderando que parte desta matéria orgânica não gera mais metano, pois está estabilizada. Com o fechamento é cessada a disposição de resíduos, o que explica o decaimento da geração de gás.

A partir da projeção dos quatro cenários, observa-se que o cenário 01 apresenta um “pico de geração” e, em seguida, um rápido decaimento da geração, quando comparado aos cenários 02, 03 e 04, respectivamente. Este comportamento deve-se ao elevado valor adotado para a variável “k”, o qual representa resíduos com elevada biodegradabilidade e, conseqüentemente, rápido consumo do substrato até sua exaustão. Situação contrária aos cenários 02, 03 e 04, nos quais a menor taxa de biodegradabilidade gera uma menor taxa de geração de gás e, conseqüentemente uma velocidade menor do consumo do substrato (matéria orgânica).

Comparando as características adotadas nos cenários com as encontradas no aterro sanitário de Rio Claro (elevada quantidade de matéria orgânica do resíduo aterrado e a prática diária de recirculação do lixiviado), o cenário que aparentemente melhor representaria a taxa de geração de metano é o cenário 01.

TERCEIRA ETAPA: CORRELAÇÃO DOS DADOS DE CAMPO COM CENÁRIOS USEPA

As curvas obtidas pela simulação dos cenários foram comparadas com os dados de vazão de metano medidos no aterro, permitindo a inferência de qual cenário representa melhor as características do aterro estudado e a acuracidade do modelo em relação aos dados de campo. Para tal, foi realizada a comparação entre a tendência os dados do modelo no período de um ano e a tendência dos valores estimados de vazão de metano dos 29 drenos existentes no aterro. A estimativa foi realizada a partir da Equação 3 a seguir.

$$\sum \frac{Q_{CH_4 \text{ dos drenos medidos}}}{\text{número de drenos medidos}} \times 29 = Q_{CH_4 \text{ do aterro no dia}} \quad \text{equação (2)}$$

RESULTADOS DA TERCEIRA ETAPA

Na Figura 4 é apresentado o resultado da correlação entre os valores do modelo, e os valores de campo do aterro.

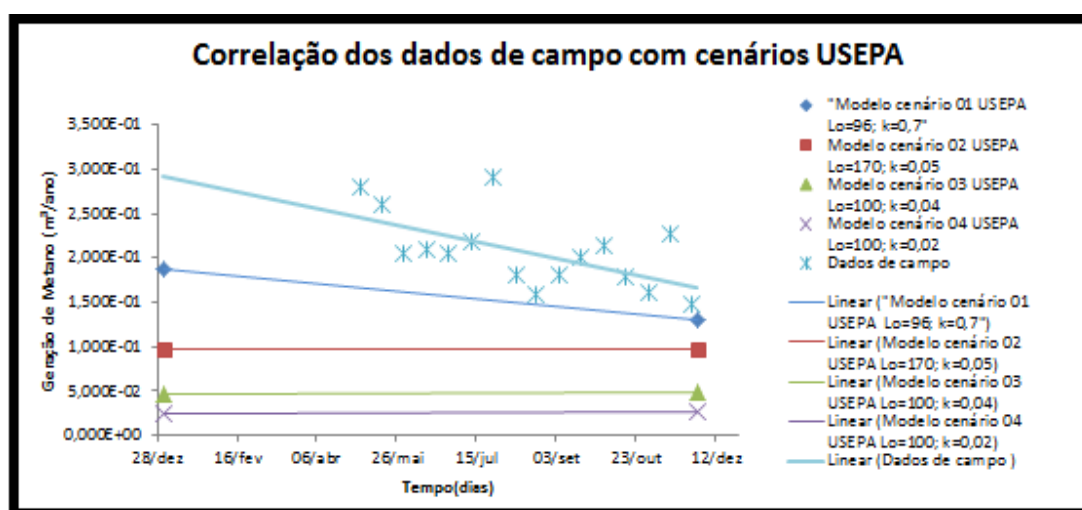


Figura 4: Correlação entre os valores do modelo e os dados de campo do aterro sanitário.

No gráfico, observa-se que os valores de campo estão em uma ordem de grandeza maior do que as apresentadas em todos os cenários, contudo o valor obtido de geração de metano pelo cenário 01 é o que melhor representa o valor de campo confirmando a afirmação anterior.

Dessa forma, no caso da falta de dados de campo para cálculo de geração de metano a partir dos resíduos dispostos, sugere-se que para aterros sanitários localizados em climas tropicais e com características de operação similar à descrita, os valores obtidos no cenário 01, mesmo subdimensionando o sistema, são os mais condizentes para o estudo.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Em todos os cenários propostos, tonado por base dados sugeridos pela bibliografia, a geração ESTIMADA de metano do aterro sanitário de Rio Claro foi MENOR DO QUE AS MEDIDAS OBTIDAS EM CAMPO, para o período analisado. Sugere-se que alguns fatores contribuíram para a elevada geração de gás e consequentemente disparidade dos dados gerados pelo modelo, tais como a prática da recirculação, o período de tempo relativamente curto e as características e de elevada biodegradabilidade dos resíduos. Assim, a continuidade do monitoramento permitirá uma análise mais acurada dos dados

No caso do aterro sanitário municipal de Rio Claro, o cenário 01 com os valores de $k = 0,7$ e $LO = 96$ foi o que melhor representou a taxa de produção de metano, em função das características do resíduo e climáticas

AGRADECIMENTOS

FAPESP - Fundação de Ampara a Pesquisa do Estado de São Paulo pelo financiamento. Projeto Regular Processo no. 2011/20081 e concessão de bolsa. Processos 2011/20264-7 e 2011/21983-7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANTONIO, S. M., MARQUES, N. P., ZANATTA, B. G. D., CCASTRO, M. C. A. A. Avaliação da vazão e concentração do biogás no aterro sanitário de Rio Claro – SP. XXIV Congresso de Iniciação Científica da UNESP. Set. 2012.
2. CASTRO, M.C.A.A; BELLO, P.P.G. Evaluation of percentage of methane gas generated in the landfill of the Rio Claro city, Brazil: study of energetic potential”. In: Third International Symposium on Energy From Biomass and Waste, 2010, Veneza. Venice 2101-Third International Symposium on Energy From Biomass and Waste. Padova: Eurowaste-IWWg, 2010. v.1
3. CETESB. Manual do usuário do programa de computador Biogás: geração e uso energético – aterros – versão 1.0. 65 p, 2006.
4. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA – MTC. Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases do Efeito Estufa. 16p. Disponível em < http://www.oc.org.br/cms/arquivos/inventa%C2%A1rio_emissa%C2%B5es_gee-valores_preliminares-25-11-2009.pdf>. Acesso em 10 mai. 2012.
5. SILVA, E.R. Modelagem matemática da produção e transporte de biogás em aterros sanitários. Dissertação (Mestrado em Energia na Área de Tecnologia, Engenharia e Modelagem – Aterros Sanitários). - Universidade Federal do ABC, Santo André-SP, 2010.