

VI-089 – AVALIAÇÃO DO MODELO DE GERAÇÃO DE GÁS METANO EM ATERROS SANITÁRIOS DA USEPA: ESTUDO DE CASO DO ATERRO DE MOSKOGEN, KALMAR, SUÉCIA

Carlos Eduardo Gomes Cassau Filho⁽¹⁾

Biólogo pela Universidade Santa Úrsula. Mestrando em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PEAMB) Universidade do Estado do Rio de Janeiro-UERJ

Eduardo Martins

Prof. Adj. do Depto. Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro-UERJ, Doutor e Mestre em Físico-Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e Bacharel em Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro

Marcia Marques

Prof. Adj. do Dept. Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro-UERJ, Prof. Titular em Ecotechnology pela Mid-Sweden University e PhD em Engenharia Química pelo Royal Institute of Technology, Estocolmo, Suécia

William Hogland

Prof. Titular em Engenharia Ambiental e Reciclagem, Linnaeus University, Kalmar, PhD e MSc em Engenharia de Recursos Hídricos pela University of Lund, Suécia

Endereço⁽¹⁾: Rua Antônio José, 2 – Santo Cristo – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20220-100 – Brasil – Tel.: (21) 2223-2252 – E-mail: carloveduardocassau@biologo.bio.br

RESUMO

O biogás gerado através de aterros sanitários é hoje utilizado no mundo inteiro como fonte de energia. O metano (CH₄), que corresponde a 45-55% do biogás, pode ser queimado em motores a combustão, tornando possível a geração de eletricidade, o aquecimento de domicílios, etc. Qualquer aterro que receba resíduos sólidos urbanos contendo uma fração orgânica biodegradável, como resíduos domésticos ou de podas e jardins, é passível de gerar CH₄ devido à digestão anaeróbia dos compostos orgânicos. Para assegurar uma correta gestão da eficiência energética do aterro, é necessário prever a capacidade de geração de biogás em cada célula do aterro ao longo dos anos, incluindo o período ativo de operação do aterro e o tempo após seu encerramento. Diversos modelos para estimar a geração de CH₄ ao longo do tempo vêm sendo propostos com o intuito de auxiliar os empreendedores de aterros em focar os aspectos econômicos, ambientais e operacionais do projeto. O presente estudo avalia os resultados das estimativas de geração de metano no aterro de Moskogen, na cidade de Kalmar, na Suécia, obtidos através do modelo de geração de CH₄ da U.S.EPA comparando com dados fornecidos pelos operadores do aterro sobre o monitoramento dos gases durante o período de 1992 a 2008. Os resultados da modelagem apontaram o esperado, ou seja, que o modelo superestima o potencial de geração/exploração de biogás do aterro, chegando a valores 900% superiores para a capacidade de extração de gases quando comparado ao que foi realmente extraído do aterro durante o período monitorado. De acordo com o modelo da U.S.EPA, o aterro de Moskogen seria capaz de produzir 331.668.137 m³ de metano do ano de 2011 até 2100. Este tipo de informação, quando não analisada de maneira correta, pode levar o operador do aterro a comprometer as projeções econômicas e até mesmo a estabilidade do aterro, uma vez que a extração do gás do aterro, quando realizada de maneira incorreta pode acarretar pressão negativa e entrada de ar atmosférico no sistema, comprometendo a degradação anaeróbica que ocorre no interior do aterro. Sugere-se um estudo comparativo utilizando outros modelos disponíveis para a estimativa em questão.

PALAVRAS-CHAVE: biogás, aproveitamento energético, estimativa de CH₄

INTRODUÇÃO

Aterros sanitários podem ser considerados reatores biológicos onde as principais matérias de entrada são os resíduos sólidos urbanos e água pluvial e os principais produtos de saída são os gases e o lixiviado produzido durante a degradação do resíduo. A degradação biológica da matéria orgânica presente nos resíduos, conduzida em ambiente anaeróbio, tem como principal resultado a geração de biogás, que é composto, principalmente, por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2).

O metano presente no biogás, entre 45 e 60%, é um gás combustível que pode ser extraído do interior dos aterros e utilizado em diversos fins comerciais como a geração de energia elétrica, abastecimento de gás natural, aquecimento e geração de vapor (em processos de secagem de lixiviado), entre outros.

Durante o planejamento de um aterro faz-se necessário o cálculo do potencial de geração de biogás para os próximos anos de operação do mesmo, uma vez que, a partir desta estimativa, é possível que os responsáveis pelo aterro possam fazer prospecções financeiras em função da quantidade esperada de biogás. Tais estimativas são obtidas através de diversos modelos utilizados no mundo todo e propostos por organizações renomadas na área científica, uma delas é a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U.S.EPA).

O grau de incerteza nos resultados obtidos através destes modelos tem sido bastante questionado (VIANA, 2011 e TARAZONA, 2010) uma vez que a implementação de aterros sanitários tem aumentado e se definindo, ao menos no Brasil, como a atual melhor solução para o destinação final dos resíduos sólidos urbanos, tornando muito comum a utilização destas metodologias para projeções sobre o aproveitamento energético destes empreendimentos.

O objetivo do presente estudo é avaliar o modelo de geração de emissões de metano em aterros sanitários proposto pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U.S.EPA) utilizando como estudo de caso o aterro de Moskogen, na cidade de Kalmar – Suécia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição da Área

O aterro sanitário municipal de Moskogen, localizado a 15 km a oeste da cidade de Kalmar, na Suécia, recebe resíduos de três comunidades vizinhas, que totalizam uma população de 90.000 habitantes, produzindo aproximadamente 40.000 toneladas de resíduos anualmente. O clima do local é típico de regiões distantes do mar, mas é sazonalmente afetado pelo Mar Báltico, com uma precipitação média anual de 300 a 800 mm/ano, tendo uma média de 470 mm nos últimos 30 anos (THÖRNEBY et. al, 2005). O aterro é dividido em cinco etapas que foram operadas ao longo das atividades do aterro, cada etapa teve um tempo de operação e uma carga e composição de resíduos diferente das demais, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Resíduos depositados no aterro de Moskogen (em toneladas), conforme classificação sueca.

<i>Células e período de operação</i>	<i>Resíduos de Construção e Demolição</i>	<i>Resíduos Não Específicos</i>	<i>Cinzas de Incineração</i>	<i>Resíduos Domiciliares</i>	<i>Resíduos de ETEs (lodo)</i>	<i>Resíduos Especiais</i>	<i>Total depositado em cada célula</i>
Etapa 1 (1977-1981)	8.434	43.222	-	82.096	2.042	-	135.794
Etapa 2 (1982-1983)	108	22.234	31	49.311	770	-	72.454
Etapa 3 (1984-1985)	-	18.462	5.455	53.915	-	-	77.832
Etapa 4 (1986-1990)	-	62.404	12.616	147.216	16.927	-	239.163
Etapa 5 (1991-1996)	8.254	85.039	6.674	202.075	43.822	721	346.585
Etapa Ö1 (1997-2008)	33.967	87.734	8.129	161.972	62.698	16.978	371.478
Total	50.763	319.095	32.905	696.585	126.259	17.699	1.243.306

Em todos os anos de operação, os resíduos domiciliares foram os maiores contribuintes de materiais depositados no aterro sanitário, totalizando 56% do total de resíduos depositados no aterro de 1977 até 2008. Como os resíduos de demolição e construção, as cinzas de incineração e os resíduos especiais possuem baixíssimos ou nenhum potencial de geração de metano, suas quantidades foram desprezadas no momento do cálculo, tomando em conta apenas os valores de resíduos não-específicos, resíduos domiciliares e resíduos de ETES. Dessa forma, o montante de resíduos que foi utilizado nos cálculos deste trabalho foi selecionado e encontra-se listado na Tabela 2.

Tabela 2: Tipo e quantidade de material depositado ano a ano no aterro de Moskogen

<i>Célula do Aterro</i>	<i>Ano</i>	<i>Resíduos Não Específicos</i>	<i>Resíduos Domésticos</i>	<i>Resíduos de ETES</i>	<i>Total depositado por ano</i>
Etapa 1	1977	4.083	8.143	83	12.309
	1978	9.422	16.901	483	26.806
	1979	8.483	17.017	394	25.894
	1980	9.280	17.973	491	27.744
	1981	11.954	22.062	591	34.607
Etapa 2	1982	12.332	24.123	770	37.225
	1983	9.902	25.188	-	35.090
Etapa 3	1984	9.716	26.813	-	36.529
	1985	8.746	27.102	-	35.848
Etapa 4	1986	8.705	26.751	-	35.456
	1987	10.107	27.463	-	37.570
	1988	11.876	28.382	2.644	42.902
	1989	17.468	32.137	6.932	56.537
	1990	14.248	32.483	7.351	54.082
Etapa 5	1991	13.317	34.864	8.011	56.192
	1992	15.163	35.585	8.286	59.034
	1993	14.806	34.655	3.721	53.182
	1994	15.452	34.002	5.732	55.186
	1995	16.284	33.151	7.433	56.868
	1996	10.017	29.818	10.639	50.474
Etapa Ö1	1997	9.174	29.463	6.693	45.330
	1998	9.078	30.131	9.122	48.331
	1999	9.118	27.014	5.695	41.827
	2000	11.868	26.171	7.281	45.320
	2001	12.340	29.642	9.231	51.213
	2002	12.590	13.463	13.168	39.221
	2003	10.002	4.612	7.845	22.459
	2004	7.320	868	2.185	10.373
	2005	3.056	374	829	4.259
	2006	1.097	151	593	1.841
	2007	1.049	47	28	1.124
	2008	1.042	36	28	1.106

Modelo de estimativa da geração de biogás

Diversos modelos para o cálculo da geração anual de gás metano em aterros sanitários são utilizados atualmente como fonte de dados para projeções sobre a operação e possível aproveitamento energético do gás gerado. Um dos principais modelos utilizados é proposto pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos - U.S.EPA (U.S.EPA, 2008). Ele é composto por duas metodologias, uma para estimar as emissões controladas, aplicada em aterros que possuem algum tipo de manejo do biogás, seja para geração de energia ou apenas a queima deste, e outra para calcular as emissões não controladas em aterros, estimando a produção total de CH₄ pelo aterro. Este trabalho apresenta estimativas de emissões não controladas, tendo foco na

capacidade de geração anual de CH₄ do aterro. A Equação 1 é utilizada para estimar emissões não controladas de CH₄, segundo a U.S.EPA (2008):

$$Q_{CH_4} = L_0 \times R \times (e^{-k \cdot c} - e^{-kt})$$

Eq. 1

Onde:

- Q_{CH₄}**: quantidade de gás CH₄ gerado no ano t (m³/ano);
L₀: potencial de geração de CH₄ por tonelada de lixo (m³ CH₄/ t resíduo);
R: quantidade anual de resíduos depositados no aterro (t/ano);
k: constante de geração de CH₄ (1/ano);
c: anos desde o encerramento do aterro, sendo **c=0** para aterros ativos;
t: anos desde o início do depósito de resíduos no aterro.

Segundo o modelo, o valor de **L₀** pode variar de 6,2 a 270 m³ de CH₄ por tonelada de resíduo, dependendo da quantidade de compostos orgânicos (principalmente celulose) presentes no resíduo e a constante **k** tem seu valor dependente da umidade, pH, temperatura e outros fatores ambientais do local, assim como as condições de operação do aterro (U.S.EPA, 2008). Para ambas as variáveis, foram utilizados os valores recomendados pela EPA para locais com níveis pluviométricos médios anuais inferiores a 635 mm, como é o caso da região de Kalmar, Suécia.

Devido à ausência de dados precisos quanto aos constituintes orgânicos em cada fração de resíduos depositados no aterro, foi utilizado como **R** o resultado da soma entre os resíduos domésticos, resíduos de ETE e resíduos não específicos depositados por ano em cada célula aplicado ao valor de 100 m³ de CH₄ / t de resíduo para **L₀**, recomendado pela metodologia, obtendo assim uma média dos possíveis materiais biodegradáveis dentro do aterro. O valor em toneladas de resíduo foi submetido à equação, obtendo como resultado a emissão de CH₄ do resíduo X no ano Y. Entretanto, como os resíduos não são totalmente degradados no ano em que são depositados, a geração de CH₄ continua a ocorrer anos após a deposição do material. Assim sendo, foi aplicada a equação ao resíduo X para estimar quanto CH₄ foi gerado devido à degradação deste material nos anos subsequentes.

RESULTADOS

Foi calculado o potencial de geração de CH₄ de cada ano de operação do aterro até o ano de 2100, estimando assim a produção anual de CH₄ em cada célula do aterro mesmo após encerramento de suas atividades. A Figura 1 apresenta o comportamento da geração de metano em cada célula do aterro cem anos depois do início da deposição dos resíduos. Através da equação sugerida para esta metodologia foi possível calcular a contribuição de cada célula para a geração total de gases assim como o decaimento da produção de CH₄ até 2100 no aterro de Moskogen.

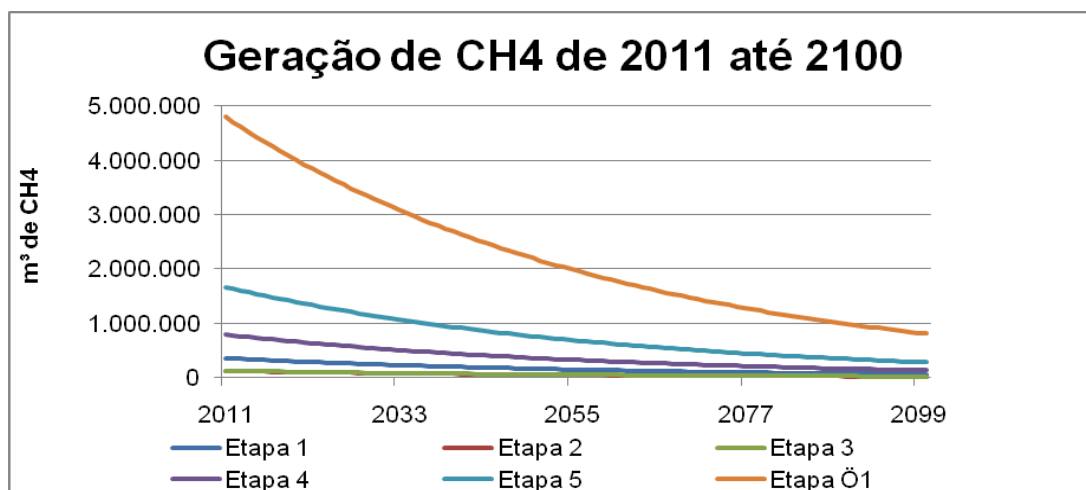


Figura 1: Decaimento na geração de metano em cada célula do aterro de 2011 até 2100

A Figura 2 apresenta a contribuição de cada célula para o potencial de geração de metano do aterro de Moskogen de 2011 até 2100. É possível observar que a célula Ö1 é a maior contribuinte na geração de CH_4 do aterro de Moskogen, e a com o maior potencial de aproveitamento energético em função do tempo uma vez que, esta célula sozinha, em 2097, 89 anos após o encerramento do aterro, ainda estaria gerando em torno de 1 milhão de m^3 de CH_4 por ano.

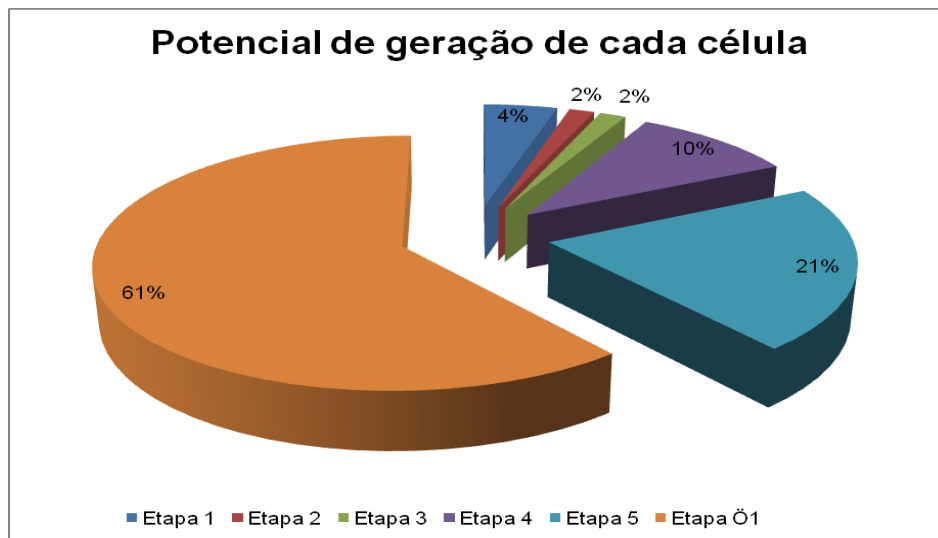


Figura 2: Total estimado de geração de CH_4 de 2011 até 2100 de cada célula

É possível observar que mesmo utilizando as mesmas variáveis em todas as etapas de cálculo, os resultados indicam que, de acordo com a metodologia fornecida pela U.S.EPA, o tempo de operação da célula é mais relevante na geração de metano do que a quantidade de resíduo depositado na mesma. Isso pôde ser observado ao se comparar a quantidade de resíduos depositados e o tempo de operação de cada célula com a quantidade de gás gerado. Na Etapa 5, por exemplo, em um total de 6 anos de operação, foram depositadas 330.936 toneladas de resíduos, 5,93% a mais que as 312.404 toneladas depositadas na Etapa Ö1, que apresentou por sua vez uma produção de metano 288% superior e foi operada durante 12 anos.

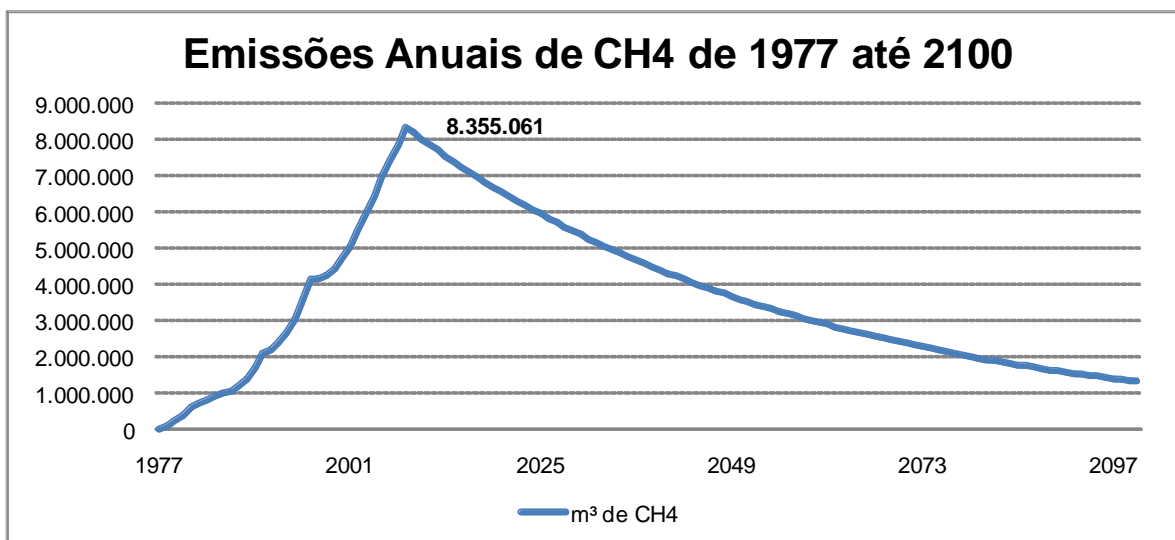


Figura 3: Evolução e decaimento das emissões de metano do aterro de Moskogen de 1977 até 2100

Através dos resultados obtidos seguindo a metodologia sugerida pela U.S.EPA, o aterro sanitário de Moskogen tem a possibilidade de gerar um total de 331.668.137 m^3 de CH_4 do ano de 2011 até 2100, e, contabilizando desde o início de sua operação, seu pico de geração de metano foi de 8.355.061 m^3 de CH_4 no ano de 2008, último ano de operação do aterro.

Os resultados obtidos foram condizentes com os de Tarazona (2010), onde a geração de CH₄ aumentou de forma exponencial ao longo dos anos de atividade do aterro, sem sofrer decaimento algum enquanto o aterro estivesse em operação.

Os operadores do aterro disponibilizaram dados sobre o monitoramento da coleta de gases realizada no período de 1992 a 2008. Estes dados foram cruzados com as estimativas obtidas através do modelo da U.S.EPA a fim de obter uma suposta eficiência do sistema de extração de gases implementado no aterro.

Tabela 3: Base de cálculos da eficiência do sistema de coleta de gases implementado em Moskogen.

Ano	CH ₄ (m ³) esperado de acordo com as estimativas	CH ₄ (m ³) coletado no aterro de Moskogen	Eficiência de Extração
1992	2.383.755	962.497	40%
1993	2.670.023	892.572	33%
1994	3.059.899	872.732	29%
1995	3.554.661	1.005.081	28%
1996	4.139.571	1.211.711	29%
1997	4.147.361	1.137.430	27%
1998	4.250.699	1.132.349	27%
1999	4.434.814	1.009.436	23%
2000	4.705.023	786.354	17%
2001	5.071.289	894.750	18%
2002	5.507.966	849.262	15%
2003	5.980.468	1.042.826	17%
2004	6.464.154	755.625	12%
2005	6.946.695	810.791	12%
2006	7.423.327	803.533	11%
2007	7.892.747	717.397	9%
2008	8.355.061	932.253	11%

Devido às irregularidades encontradas no modelo de geração de CH₄ desenvolvido pela U.S.EPA, os valores de eficiência do sistema de extração de gás implementado no aterro de Moskogen foram muito menores que o esperado, tendo uma média de apenas 21% de eficiência neste período monitorado. Confrontando o que foi exposto, os operadores do aterro afirmam que o mesmo extrai cerca de 60% do total de gases que são produzidos pela massa de resíduos em decomposição, valor recomendado nas práticas de coleta de gases subterrâneos em aterros sanitários para que não haja risco de entrada de ar atmosférico na massa de resíduos.

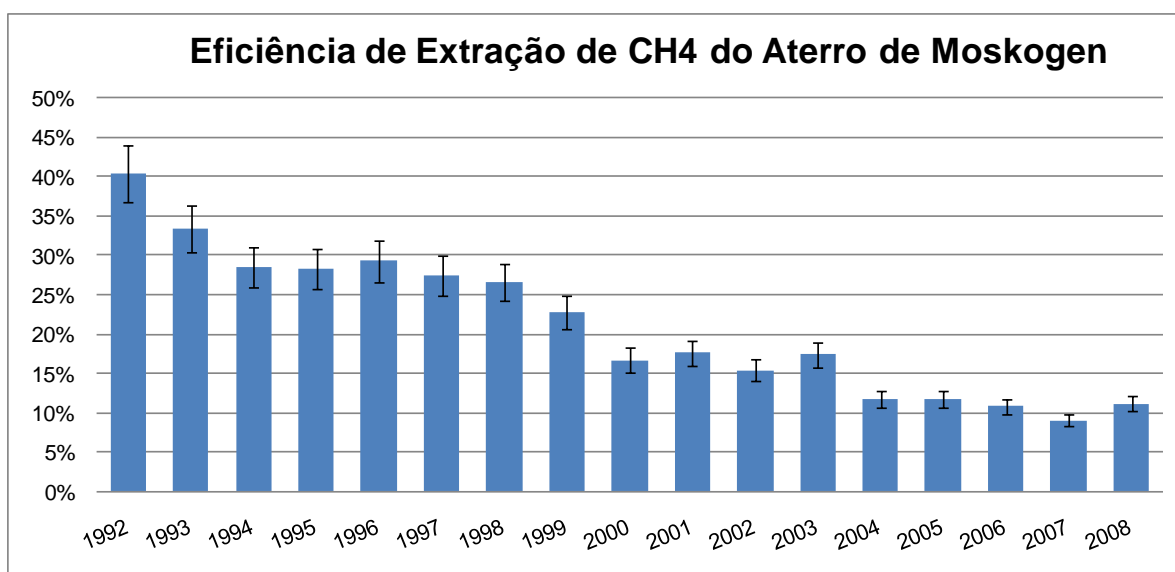


Figura 4: Eficiência do sistema de coleta de gases durante o período de 1992 a 2008, assumindo que a geração estimada pelo modelo da USEPA esteja correto.

CONCLUSÃO

De acordo com o modelo proposto pela U.S.EPA, a geração de metano de um determinado resíduo depositado em uma etapa da operação do aterro aumenta exponencialmente enquanto esta etapa estiver em operação. O decaimento na produção de metano só inicia após o fechamento da célula.

Tal premissa adotada por esta metodologia tende a superestimar a produção de metano em aterros sanitários, uma vez que a produção de biogás geralmente inicia no mesmo ano em que são depositados os resíduos, dependendo principalmente da camada de cobertura e entrada de O_2 , representando dessa forma a degradação da matéria orgânica presente no aterro e o decaimento na disponibilidade de matéria prima para produção de metano.

Recomenda-se a identificação do potencial de geração de CH_4 por tonelada de resíduo (L_0) para cada tipo de resíduo depositado no aterro, a fim de evitar extrapolações quando houver deposição de materiais basicamente inorgânicos nas células do aterro em estudo.

Para obtenção de estimativas e compilação de projeções financeiras ou energéticas de aterros sanitários, não é recomendada a utilização da metodologia da USEPA, que provou ter sua estrutura de cálculo inadequada, com valores superestimados da geração do biogás e em particular do gás metano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. TARAZONA, C. F. Estimativa de Produção de Gás em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro. 2010. Dissertação de Mestrado. COPPE-UFRJ. 2010.
2. THÖRNEBY, L., MATHIASSEN, L., MÅRTENSSON, L., HOGLAND, W. The performance of a natural treatment system for landfill leachate with special emphasis on the fate of organic pollutants. 2005. Waste Management & Research, n. 24, p.183-193. Kalmar, 2005.
3. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, USEPA, Background Information Document for Updating AP42 Section 2.4 for Estimating Emissions from Municipal Solid Waste Landfills, Washington, 2008. Disponível em: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch02/draft/db02s04.pdf>. Acesso em: 09 set. 2010.
4. VIANA, T. A. P. Análise das Estimativas de Emissão de Metano por Aterros Sanitários em Projetos de MDL no Brasil. Rio de Janeiro. 2011. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental-UERJ. 2011.