



I-005 – ESTUDO DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO NO LIXÃO DE CUIABÁ-MT

Nayra Nalessa de Campos Monteiro⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Mestranda em Recursos Hídricos na UFMT.

Aniely Rodrigues Costa⁽²⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela UFMT.

Danielle Karine Aguiar Mattozo⁽³⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela UFMT. Mestranda em Recursos Hídricos na UFMT.

Dempsey Thrweyce Alves de Arruda e Silva⁽⁴⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela UFMT. Mestrando em Recursos Hídricos na UFMT.

Endereço⁽¹⁾: Rua Benedito de Medeiros Claro, 03, Residencial Elias Domingos, São Jorge - Várzea Grande - MT- CEP: 78130-840 - Brasil - Tel: (65) 99254-4678 - e-mail: nayracmonteiro@gmail.com

RESUMO

A disposição final inadequada dos resíduos sólidos causa um dos graves problemas ambientais enfrentados pelos grandes centros urbanos: emissão descontrolada de metano e a poluição atmosférica. Neste contexto, o objetivo do estudo foi comparar metodologias mais utilizadas para a estimativa da produção de biogás e aplicar à situação atual do lixão de Cuiabá-MT. Realizou-se um levantamento bibliográfico referente aos métodos de potencial de geração do biogás e escolheram-se os três mais recomendados e utilizados, sendo eles IPCC, USEPA e Banco Mundial. Além disso, considerou-se cenário conservador, intermediário e pessimista para a produção de metano, relacionados com a quantidade de matéria orgânica presente nos resíduos. Devido à metodologia USEPA representar adequadamente a variação de geração de metano para aterros ativos como para aterros já encerrados, esta foi escolhida para aplicar à realidade da área estudada. No último ano de operação do lixão, o potencial de geração de metano foi de 4.078.344,85 m³/ano, sendo possível abastecer energeticamente 2.721 residências. Cuiabá apresenta um alto potencial de geração de metano em virtude do grande teor de matéria orgânica presente na massa de resíduo disposta no lixão, porém, ressalta-se a necessidade de ajustes no modelo à realidade brasileira, para que se adequem as características climáticas, ambientais e operacionais, evitando que os dados possam ser superestimados ou subestimados.

PALAVRAS-CHAVE: IPCC, USEPA, Banco Mundial.

INTRODUÇÃO

De acordo com Ensinas (2003), a disposição final dos resíduos sólidos urbanos é um dos graves problemas ambientais enfrentados pelos grandes centros urbanos em todo o planeta. Ao ser disposto no solo, os resíduos orgânicos passam por um processo de degradação no qual é liberado o biogás, e, este é composto por metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), entre outros gases. Por ser um gás altamente inflamável, o biogás pode apresentar risco de incêndio e explosões. A sua emissão descontrolada é um grave problema de poluição atmosférica local e global e esse problema precisa ser mitigado. Entretanto, o metano pode ser utilizado como combustível para a geração de energia e o biogás proveniente de aterros ganha importância frente às novas políticas de geração de energia a partir de fontes renováveis.

Vale ressaltar que a produção de biogás em aterros é influenciada por diversos fatores, como, composição dos resíduos dispostos, taxa de umidade, tamanho das partículas dispostas, temperatura, pH, idade dos resíduos e a operação do aterro.

Para a estimativa da geração do biogás existem várias metodologias e cada uma possui particularidades. De acordo com Landi (2013), modelos matemáticos são ferramentas que possibilitam fazer uma estimativa da geração dos gases por meio de simulações envolvendo variáveis do sistema, tais como, quantidade e qualidade do resíduo, tempo de aterramento, potencial energético dos gases gerados, taxa específica de biodegradabilidade, dentre outras. Porém, as principais limitações destes modelos é a ausência de dados dos

resíduos como: caracterização gravimétrica, características físicas do aterro e o mau entendimento dos parâmetros necessários para cálculo.

De acordo com UFMT/DESA (1998), a porcentagem de matéria orgânica de resíduos sólidos urbanos do município de Cuiabá pode chegar a 75%. Ainda, a produção de resíduos varia entre 0,6 a 0,9 quilogramas por habitante/dia. Diariamente, são produzidas cerca de 530 toneladas de resíduos domiciliares. Assim, faz-se necessário a disposição adequada dos resíduos e o controle dos gases gerados.

O objetivo do presente trabalho é estimar o potencial de produção de biogás gerado pelos resíduos sólidos urbanos de Cuiabá-MT e realizar uma comparação analisando as metodologias mais utilizadas para a estimativa da produção de biogás em aterros sanitários/lixões, sendo elas IPCC, USEPA e Banco Mundial.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no ano de 2016, tendo como área de estudo o aterro sanitário de Cuiabá, localizado em Mato Grosso, Brasil. O clima é tropical de savana (quente e semiúmido), com temperatura média anual de 26°C. A cidade possui, segundo dados do IBGE, 3.495,424 km², sua população em 2014 é estimada em 575.480 habitantes (IBGE, 2012). O aterro sanitário está localizado ao nordeste da área urbana da cidade, capital do estado, na estrada Balneário Letícia, s/n^o, bairro Barreiro Branco. Está distante cerca de 10 km do Centro Político Administrativo, possui uma área de aproximadamente 15,16 ha e as coordenadas são: 15° 35' 12" S e 56° 04' 16" W.

PRIMEIRA ETAPA: LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Inicialmente, realizou-se um levantamento bibliográfico referente aos métodos de potencial de geração do biogás em aterros sanitários já existentes e a partir disso, escolheram-se três métodos mais recomendados e utilizados, sendo eles IPCC, USEPA e Banco Mundial.

MODELO IPCC

A metodologia do IPCC envolve a estimativa da quantidade de carbono orgânico degradável presente no resíduo para calcular a quantidade de metano possível de ser gerada por determinada quantidade de resíduo depositado, considerando diferentes categorias de resíduos sólidos domésticos (MENDES e MAGALHÃES SOBRINHO, 2005).

As diretrizes do IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – (1996), descrevem dois métodos para estimar as emissões de metano procedentes de aterros: o método simplificado, que tem como base a suposição de que o total de metano potencial se libera durante o ano em que se produz a disposição dos resíduos (Equação 1) e que há um aumento constante na geração de biogás, e o método de decomposição de primeira ordem (Equação 2 e 3), no qual é gerado um perfil de emissões que depende do tempo transcorrido e que reflete melhor as verdadeiras pautas do processo de degradação ao longo do tempo.

$$CH_4 \left(\frac{t}{ano} \right) = (RSU_T \times RSU_F \times L_0 - R(t)) \times (1 - OX) \quad \text{equação (1)}$$

$$CH_{4Gerado} \left(\frac{t}{ano} \right) = \sum [A \times k \times RSU_T(x) \times RSU_F(x) \times L_{0(x)} \times e^{-k(t-x)}] \quad \text{equação (2)}$$

$$CH_{4Emitido} \left(\frac{t}{ano} \right) = [CH_{4Gerado} - R(t)] \times (1 - OX) \quad \text{equação (3)}$$

No qual:

t = ano de realização do inventário;

x = ano de contribuição (desde início de atividade até t);

A = (1-e-k)/k; fator de normalização para corrigir a soma;

k = constante de geração, ano-1;

$RSU_{T(x)}$ = total de RSU gerados no ano x, t/ano;
 $RSU_{F(x)}$ = fração de RSU depositada no aterro no ano x;
 $RSU_{T(x)} * RSU_{F(x)}$ = massa de resíduos despejada no ano x, t/ano;
 L_0 = potencial de geração de metano (t CH_4 /t RSU);
 $L_0 = FCM(x) * COD(x) * CODF * F * 16/12$;
 $FCM(x)$ = fator de correção do metano no ano x;
 $COD(x)$ = fração de carbono orgânico degradável no ano x (t C/t RSU);
 $CODF$ = fração do carbono orgânico degradável assimilado;
 F = fração de metano no gás do aterro, na ausência de dados 0,5;
 $16/12$ = conversão de carbono a metano;
 $R(t)$ = quantidade de metano recuperada no ano t;
 OX = fator de oxidação (fração);
 $K = 0,05$ (se não estiver caracterizado).

MODELO USEPA

Segundo Abreu (2009), o modelo apresentado pela USEPA é usado para estimar a geração de biogás até um dado ano com base em todos os resíduos despejados até este ano. Projeções para múltiplos anos são desenvolvidas variando o ano de projeção e reaplicando as equações. Esse modelo requer conhecimento do histórico da disposição de resíduos (ou, no mínimo, da quantidade de lixo depositado e data da abertura do aterro sanitário).

A USEPA apresenta duas metodologias para calcular os gases emitidos pela degradação de Resíduos Sólidos em aterros: uma destinada a sistemas de disposição sem controle, ou seja, em vazadouros ou lixões e a outra destinada ao cálculo das emissões em sistemas de disposição controlada (BORBA, 2006).

Para o tipo de disposição sem controle é apresentada a equação cinética de primeira ordem com a qual podem ser calculadas as emissões de metano. Esta metodologia foi publicada pela USEPA (“*Emission factor documentation for AP-42 section 2.4. Municipal Solid Waste Landfills*”) e tem como base a estimativa direta das emissões de metano a partir de um modelo (*Land-Gem: Landfill Gas Emission Model*):

$$Q_{CH_4} = L_0 * R * x * (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad \text{equação (4)}$$

No qual:

Q_{CH_4} = Metano gerado no ano t, (m³/ano);
 L_0 = Potencial de geração de metano por tonelada de resíduo depositado, (m³ CH_4 /t resíduo);
 R = Média anual de entrada de lixo no vazadouro, (t/ano);
 k = taxa de geração de metano, (ano⁻¹);
 c = anos desde o fechamento, c=0 para os ativos, (ano);
 t = anos desde o início da atividade, (ano).

Referente a disposição controlada de resíduos devem ser consideradas a eficiência do sistema de captação e dispositivo de controle (BORBA, 2006). A equação para estimar as emissões no caso em que existam dispositivos de controle e sempre que não se disponham de dados e/ou medições da própria instalação procede-se da seguinte forma:

$$CM_{CH_4} = \left(Q_{CH_4} * x * \left(1 - \frac{\eta_{col}}{100} \right) \right) + \left(Q_{CH_4} * x * \frac{\eta_{col}}{100} * x * \left(1 - \frac{\eta_{cont}}{100} \right) \right) \quad \text{equação (5)}$$

No qual:

CM_{CH_4} = emissões controladas de metano, (m³/ano);
 Q_{CH_4} = emissões não controladas de metano obtidas com a equação (4) (m³/ano).
 η_{col} = Eficiência do sistema de captação, 75%, valor sugerido;
 η_{cont} = Eficiência do dispositivo de controle;



BANCO MUNDIAL (MODELO SCHOLL-CANYON)

Banco Mundial utiliza o Modelo *Scholl Canyon* que é um modelo cinético de primeira ordem com base na premissa de que há uma fração constante de material biodegradável no aterro por unidade de tempo. O Modelo prediz a produção de gases durante algum tempo como uma função da constante de geração de gases de aterro (k), do potencial de geração de metano (L_0) e dos registros históricos de despejo de lixo e das projeções do resíduo futuro num aterro (BANCO MUNDIAL, 2003).

$$Q_{CH_4} = k \times L_0 \times M_i \times e^{-kt}$$

Equação (6)

No qual:

Q_{CH_4i} = metano produzido no ano i a partir da seção i do resíduo;

k = constante da geração de metano;

L_0 = potencial da geração de metano;

M_i = massa de resíduo despejada no ano i .

O potencial de geração de metano (L_0) representa a produção total de metano (m^3 de metano por tonelada de lixo) e seu valor é dependente da composição do resíduo e, em particular, da fração de matéria orgânica presente. Valores típicos para este parâmetro variam de 125 m^3 /tonelada de metano a 310 m^3 /tonelada de metano (Banco Mundial, 2003).

De acordo com Borba (2006), a metodologia do IPCC é adequada para utilização em aterros ativos, enquanto a metodologia do Banco Mundial apresenta uma melhor representação para aterros já encerrados. Enquanto a metodologia USEPA destaca-se por representar adequadamente a variação de geração de metano tanto para aterros ativos como para aterros já encerrados. Logo, no presente trabalho utilizou-se a metodologia USEPA para determinação do potencial energético do metano gerado.

SEGUNDA ETAPA: ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE CUIABÁ

Após a definição dos modelos, buscou-se dados secundários para a estimativa da geração de resíduos sólidos em Cuiabá. De acordo com o relatório 6 do plano municipal de saneamento básico, a massa de resíduos gerados em 2011 é de 147.656 toneladas e o valor do crescimento *per capita* de RSU de 1,38%. Além disso, segundo o IBGE (2012), a taxa de crescimento populacional é de 0,0117. Desta forma, com o auxílio do software *MS Excel* e da equação de progressão geométrica, estimou-se a produção de resíduos sólidos durante os anos de 2016 a 2030.

TERCEIRA ETAPA: ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE METANO E POTENCIAL ENERGÉTICO

Realizou-se o cálculo da produção de metano entre 2016 até 2045, para as metodologias Banco Mundial e USEPA, e, de 2016 até 2030 para a metodologia do IPCC, pois, como dito anteriormente, essa última metodologia não se aplica ao período depois do fechamento do lixão.

Diante das três metodologias apresentadas escolheu-se a que mais se adequava a situação atual do lixão da cidade e selecionou-se a apresentada pela USEPA pois esta metodologia estima adequadamente tanto aterros ativos, quando aterros encerrados se adaptando ao caso estudado.

Depois disso, foram desenvolvidos 3 cenários prováveis para a produção de metano e aproveitamento energético, relacionados com a quantidade de matéria orgânica presente nos resíduos depositados, sendo eles conservador, intermediário e otimista. O componente da fórmula escolhido para variação foi a fração de matéria degradável existente (L_0).

No cenário pessimista ou conservador, de baixa produção de metano, assume-se o valor recomendado da USEPA (1998) de potência de geração, que é 140 m^3 /Ton de resíduo, considerado uma situação conservadora pelos órgãos ambientais e IPCC. Para o intermediário considerou-se $L_0=160$ m^3 /Ton de resíduo e $L_0=180$ m^3 /Ton de resíduo para o cenário otimista. Em todas as situações presume-se que a coleta iniciará em 2016 e encerrar-se-á em 2045.

Em seguida, calculou-se a potência elétrica gerada em função do poder calorífico e vazão do metano gerado. Para realização desse cálculo, estabeleceu-se o pressuposto que a tecnologia de conversão do biogás em energia elétrica seria o motor de combustão interna. Foram pesquisados também as tecnologias de microturbinas e turbinas a gás. Mas, optou-se por motor de combustão interna pois Motores de combustão interna têm sido geralmente empregados em sítios onde a quantidade de gás é capaz de produzir entre 800 kW e 3 MW, ou onde o fluxo de gás permanente está entre 11.300 e 45.300 de metros cúbicos por dia (11.326,8 e 45.307,0 m³/dia) com 50% de CH₄ (USEPA, 2009). Foram utilizadas as equações (7) e (8) sugeridas por ICLEI (2009) para conversão de energia.

$$Pot = (QCH_4 \times PCI \times n) / 860000 \quad \text{Equação (7)}$$

$$E = Pot \times Rend \times Tempo \text{ de Operação} \quad \text{Equação (8)}$$

Onde:

Pot = Potência em MW/h

QCH₄ = Vazão em M³/h

PCI = Poder calorífico inferior do metano

n = Rendimento do motor

860.000 = conversão de kcal para MW;

E = energia disponível (MWh/dia)

Rend = rendimento de motores operando a plena carga (estimado em 87% = 0,87) Tempo de operação do motor = 24 horas/dia

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As curvas de geração de metano nos modelos pela USEPA e pelo Banco Mundial apresentam um ano de geração máxima e em seguida, essa geração tende a cair. O modelo do IPCC não apresenta esse comportamento, tendo um comportamento exponencial.

O método do IPCC estimou que em 2016 a produção de metano seria de 2.225.232,9 m³. O ano de maior produção seria em 2030, com uma produção de 11.160.556,03 m³/ano. Não foi possível determinar o volume emitido nos anos posteriores a 2030 (período de fechamento do lixão), pois a fração exponencial é sempre crescente e desta forma não apresenta o decréscimo de geração, sendo assim a desvantagem do presente método.

Ao utilizar o método do Banco Mundial obteve-se uma estimativa de 1.708.164,117 m³ de metano gerado em 2016 e 2.430.126,6 m³ de metano gerado em 2030, ano de maior produção. O menor volume foi de 988.015,7475 m³, correspondente ao último ano analisado (2045). O total de metano gerado nos anos de 2016 a 2045 atingiu um valor de 54.063.716,77 m³/ano.

O método da USEPA estimou que em 2016 a produção anual de metano seria de 249.132,16 m³, a produção máxima ocorreria em 2030 com formação de 4.078.344,8 m³ de metano, e, em 2045, ano proposto para encerramento do aproveitamento de metano, a produção de metano ainda seria de 2.238.243,11 m³.

A energia gerada e potência elétrica apresentam crescimento exponencial até o ano de 2030, onde haverá 529.473,4977 kWh/mês com potência de 0,83 MW/h no cenário pessimista (cenário 1), 605.112,57kW de energia disponível por mês com 0,953MW/h de potência no intermediário (cenário 2) e 680.751,64 kWh/mês de energia com 1,07 MW/h de potência no otimista (cenário 3).

No total serão gerados aproximadamente 9.960.662,26 kWh/mês com potência total de 15,68 MW para o cenário 1, 11.383.614,01kWh/mês e 17,92 de potência no cenário 2 e 12.806.565,77 kWh/mês de energia e 20,16 MW de potência para o terceiro cenário.

De acordo com (ABRELPE, 2013) os municípios brasileiros entre 500 mil e um milhão de habitantes apresentam potencial médio de aproximadamente 2 MW/h. Estima-se que no cenário pessimista em 2016, 166 residências poderão ser abastecidas, chegando a 2.721 residências em 2030 e 1.493 residências em 2045. No segundo cenário o número de casas abastecidas inicia-se com 190 no primeiro ano até chegar ao valor de 3.110

em 2030 e posteriormente 1.707 no ano final. Para o cenário 3 em 2016, 214 domicílios serão atendidos, atingindo um máximo de 3.498 residências e 1.920 no último ano.

CONCLUSÕES

Ao analisar e comparar as metodologias mais utilizadas para a estimativa da produção de biogás em aterros sanitários/lixões verificou-se que a metodologia mais apropriada para a área de estudo foi a USEPA, porém ressalta-se a necessidade de ajustes, no referente método, para que se adeque as características climáticas e ambientais do país evitando que os dados possam ser superestimados ou subestimados.

Cuiabá apresenta um alto potencial de geração de metano em virtude do grande teor de matéria orgânica presente na massa de resíduo disposta no lixão e a adoção de diferentes cenários permitiu uma boa visualização das possíveis situações que poderão ser encontradas no lixão mediante as variações do material biodegradável presente no local.

A energia disponível para utilização poderá atender centenas de casas por mais de duas décadas, inclusive no pior cenário, demonstrando que essa é uma boa alternativa como medida na melhoria da atual situação do local, mas, esse número poderá ser maior em virtude da melhoria na eficiência do sistema de coleta, manutenção e operação dos equipamentos, pois o trabalho é realizado com valores médios sugeridos.

Em uma perspectiva futura, espera-se que a aplicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos reduza a massa de lixo nos aterros sanitários, tendo em vista que seus objetivos visam reduzir a geração de resíduos, reciclagem e reaproveitamento, que por consequência diminuiria a produção de metano e o potencial de suas múltiplas utilidades, mas isso não descarta a relevância de projetos com essa temática.

RECOMENDAÇÕES

Como proposta para trabalho futuros, sugere-se realizar a determinação das características do biogás com a finalidade de saber as características gás produzido na degradação dos resíduos no local para exata calibração dos modelos.

Sugere-se, também, uma análise dos custos da implantação do projeto no lixão, onde se deve estar incluso o sistema de coleta de gases, moto-gerador e outros equipamentos. Além disso, é necessário avaliar as taxas, tributos e riscos financeiros referentes a esse tipo de atividade e a gestão dos aspectos contratuais de comercialização de créditos de carbono e energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABREU, F. V. de. Análise de viabilidade técnica e econômica da geração de energia através do biogás de lixo em aterros sanitários. Dissertação (Mestrado) em engenharia mecânica – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
2. BANCO MUNDIAL, Manual para a Preparação de Gás de Aterro Sanitário para Projetos de Energia na América Latina e Caribe, 2003.
3. BORBA, S.M. Análise de modelos de geração de gases em aterros sanitários: estudos de caso Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro. 2006.
4. ENSINAS, A.V. Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas – SP. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
5. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2012. Disponível em: <www.ibge.gov.br>.
6. ICLEI - Brasil - Governos Locais pela Sustentabilidade. Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários. ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2009.
7. IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (1996). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Report produced for invitation of the United Nations Framework Convention on Climate Change.

8. LANDI, M. O. Análise e Simulação de Modelos Matemáticos Para a Estimativa da Geração de Gases em Bioprocessos de Decomposição Anaeróbia de Resíduos Sólidos em Aterros Sanitários. 2013. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo.
9. MENDES, L.G.G.; MAGALHÃES SOBRINHO, P. Métodos de estimativa de geração de biogás em aterro sanitário. Universidade Estadual Paulista – UNESP Faculdade de Engenharia, Campus Guaratinguetá – FEG, Departamento de Energia – DEN, 2005.
10. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de Cuiabá, 1998.
11. USEPA - U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2009). LFG Energy Project Development Handbook, Disponível em: <<http://www.epa.gov/landfill/res/handbook.htm>>.