

III-110 – INFLUENCIA DA RECIRCULAÇÃO DE LIXIVIADO NA VAZÃO E NA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS PARA RESÍDUOS COM DIFERENTES TEMPOS DE ATERRAMENTO EM ATERRO SANITÁRIO DE MÉDIO

Marcus Cesar Avezum A. de Castro⁽¹⁾

Engenheiro. Livre docente. Professor do Curso de Engenharia Ambiental-IGCE-UNESP

Cesar Augusto Moreira

Geólogo. Livre Docente. Professor do curso de Geologia do IGCE-UNESP

Sandra Imaculada Maintiguer

Bióloga. Docente do Instituto de Pesquisa em Bioenergia (IPBEN)-UNESP

Reinaldo Pisani Junior

Engenheiro. Professor do Curso de Engenharia Química e Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Universidade de Ribeirão Preto.

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

RESUMO

O estudo da geração do biogás em aterros sanitários auxilia no entendimento das relações existentes entre a produção de gás e os parâmetros operacionais, que por sua vez subsidia os estudos de viabilidade do aproveitamento energético. Nesse sentido, a pesquisa avalia a influencia da pratica de recirculação de lixiviado na produção e composição do biogás. O estudo foi realizado em aterro sanitário que recebe diariamente 200 t/dia. O monitoramento do biogás foi realizado por um período de 10 meses, com medições quinzenais de vazão e concentração de metano, em áreas com e sem a prática da recirculação, com diferentes tempos de disposição de resíduos, em períodos de estiagem e precipitação. A vazão de biogás nos drenos localizados em áreas com a prática de recirculação de lixiviado foi, em média, 59,8% maior, com ênfase nas áreas com resíduos mais recentes. Em relação a porcentagem de metano a influencia foi menos significativa.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro sanitário, Biogás, Metano, Geração Energia, Lixiviado, Chorume, Recirculação.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a elevada porcentagem de matéria orgânica presente nos resíduos sólidos domiciliares, quando disposta em aterros sanitários, acentua o potencial de contaminação do solo, água superficial e subterrânea, além da geração de gases de efeito estufa (gás metano). Entretanto, em condições operacionais adequadas do aterro pode proporcionar condições favoráveis à geração de energia a partir do aproveitamento energético do biogás, e o desenvolvimento de novas fontes de energia.

Nesta linha, aproveitamento do poder calorífico do gás metano presente no biogás reduz a emissão de gases de efeito estufa para atmosfera, e constitui-se em uma fonte de energia alternativa. Segundo estudos realizados pela ABRELPE (2013), no cenário atual o país possui um potencial de gerar 254 MW de energia a partir do biogás, e 500 MW em 2039 com o aproveitamento do biogás de aterro.

No entanto, um dos desafios para a utilização energética do biogás de aterros sanitários é a estimativa segura da taxa de produção ao longo da vida útil do aterro. A aplicação de modelos matemáticos para estimar o potencial de geração de gás metano em aterros sanitários produz valores divergentes dos obtidos na prática que, em última análise, compromete a confiabilidade de estudos de viabilidade econômica do projeto.

Segundo Castro e Bello (2010) as características climáticas, as práticas operacionais e os resíduos com elevada porcentagem de material orgânico com alta biodegradabilidade, criam condições específicas e particulares que dificultam a aplicação segura de modelos matemáticos para a estimativa do potencial de geração de gás metano para as condições dos aterros brasileiros.

Com a aprovação da Lei 12305/2010 que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), a qual estabelece nos art. 15º e 17º, metas para o aproveitamento energético dos gases gerados em sistemas de disposição final, suscita um novo cenário para a disposição final dos resíduos, com a possibilidade de concepções e projetos voltados ao aproveitamento energético.

Nesse sentido, entender as relações entre os parâmetros que influenciam no processo de degradação anaeróbia, sob condições reais de operação de um aterro sanitário, auxilia na estimativa segura da taxa de geração de biogás.

Nos últimos anos, o processo anaeróbio vem ocupando destaque nos processos de tratamento de efluentes, o qual tem gerado sólidos conhecimentos a respeito dos parâmetros e das condições ideais para a sua condução, bem como do aproveitamento do metano gerado. Porém, o processo anaeróbio em aterros sanitários se desenvolve em um sistema complexo, que envolve as condições operacionais (taxa de compactação dos resíduos, camada de cobertura, eficiência do sistema de drenagem pluvial) e a composição heterogênia dos resíduos. Tal complexidade cria condições específicas e dinâmicas para o desenvolvimento do processo de degradação dos resíduos.

Portando, a análise temporal da composição e da vazão dos gases em aterro sanitário, sob condições operacionais e pluviométricas específicas, bem como os fatores que podem otimizar a geração do biogás, contribui para o avanço dos estudos do processo de digestão anaeróbia e da geração de metano em aterros sanitários.

Contudo, a presente pesquisa avalia a influencia da pratica de recirculação de lixiviado gerado em aterro sanitário na produção e composição do biogás. O estudo foi realizado em aterro sanitário que recebe diariamente 200 t/dia, localizado no município de Rio Claro. O monitoramento do biogás foi realizado por um período de 10 meses, com medições quinzenais de vazão e concentração, em áreas com e sem a prática da recirculação, em períodos do ano com estiagem e precipitação intensa.

FATORES QUE INFLUENCIAM NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

O modelo de degradação dos resíduos e a geração de biogás em aterro sanitário foi proposto inicialmente por REES (1980), em seguida por POHLAND e GOULD (1986) que dividiu o processo em cinco fases, descritas de forma resumida como: Fase I - após a execução da camada de cobertura, os resíduos passam por um período de degradação biológica em condições aeróbias; Fase II - caracterizada para transição do processo aeróbio para anaeróbio, observado pela alteração do potencial de oxidação e redução do meio; Fase III - ocorre a produção de quantidades significativas de ácidos orgânicos e pequenas quantidades de gás hidrogênio, envolve a conversão microbiológica dos compostos resultantes da primeira etapa em compostos intermediários com baixa massa molecular, como o ácido acético (CH₃COOH); Fase IV- caracterizada pela conversão de ácido acético e gás hidrogênio em CH₄ e CO₂; Fase V- determinada pela maturação do processo de degradação no qual grande parcela dos resíduos orgânicos já encontram-se degradados e convertidos em CH₄ e CO₂, diminuição da taxa de geração do gás.

A Tchobanoglous et. al.(1993) apresenta a conversão biológica anaeróbia da matéria orgânica dos resíduos sólidos para gases (equação 1). Os principais produtos finais do processo são dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), amônia (NH₄), gás sulfídrico (H₂S), e matéria orgânica resistente. De acordo com o autor, o dióxido de carbono e o metano constituem mais de 99%, em volume, do total dos gases produzidos.

A produção e a composição do biogás em aterros sanitários são resultantes da atividade biológica e da fase de degradação. Pesquisa realizada por Lacoboaeva e Petrescu (2013) em aterro concluiu que a quantidade e características do gás de aterro são determinadas por variados fatores, nos quais se destacam fatores climáticos e a composição dos materiais biodegradáveis dos resíduos sólidos.

A compilação de pesquisas de diferentes autores demonstram que os fatores que influenciam na taxa de geração de biogás em aterros sanitários são: composição dos resíduos; temperatura; pH; condições climáticas; taxa de compactação e umidade. Mendes (2005); Reinhart et all (2011); Palmisano et all (2003); Chiemchaisri et all (2007).

Já Christensen et al (2007) a quantidade e qualidade do material disposto no aterro sanitário determinam o potencial de geração de metano. A presença de nutrientes e material orgânico de fácil degradação aumenta o potencial de geração de biogás, pois se constituem em substrato para as bactérias.

Segundo Castro (2001) outro fator importante que interfere na produção e aproveitamento do biogás são as condições operacionais e o método construtivo do aterro como, por exemplo, a eficiência do sistema de drenagem de águas pluviais e a taxa de compactação da camada de cobertura, as quais interferem diretamente na infiltração da água na massa de resíduos, e conseqüentemente no teor de umidade no interior do aterro.

Franceschi, Castro e Moreira (2013) observaram que as dimensões do aterro (profundidade) e taxa de compactação dos resíduos contribuem para eliminar o oxigênio presente na massa de resíduos e melhora as condições de isolamento térmico no interior do aterro.

Duran, Latanze e Pisani Junior (2009) observaram que, para o teor de umidade de 54,2% da massa de resíduos, o aumento do peso específico de 800 kg/m³ para 1000 kg/m³ resultou em uma redução de 90% na produção de metano. Segundo os autores o aumento do peso específico propiciou a concentração de ácidos voláteis durante a fase inicial, reduzindo o pH do meio, e conseqüentemente inibiu a atividade das bactérias metanogênicas.

RECIRCULAÇÃO DO LIXIVIADO E SUA INTERFERÊNCIA NO PROCESSO DE DEGRADAÇÃO DE RESÍDUOS EM ATERRO SANITÁRIOS

Previamente a apresentação de pesquisas a respeito da recirculação de lixiviados em aterros sanitários deve-se ressaltar que tal prática não é permitida pelo órgão ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), pois se realizada sem o devido controle e monitoramento da estabilidade dos taludes pode aumentar o potencial de risco de deslizamento, pela saturação da massa de resíduos.

A recirculação de lixiviado na massa de resíduos aterrados é uma prática constante em diversos aterros no mundo, pois acelera o processo de degradação e diminui o tempo de estabilização da fração orgânica dos resíduos aterrados e a produção de gás (Pohland, 1975).

Segundo Ozkaya et al (2006) a prática de recirculação do lixiviado acelera a degradação dos resíduos, dilui potenciais inibidores da fase metanogênica e estimula o fluxo de água que permite a transferência de microrganismos, substrato e nutrientes. Tais aspectos aceleram o processo de degradação dos resíduos, e antecipam as condições metanogênicas no aterro, reduzindo o tempo de estabilização dos resíduos de algumas décadas para dois ou três anos. Em paralelo ocorre também a redução das concentrações de contaminantes do lixiviado.

A recirculação do lixiviado, realizada com diferentes técnicas, cria condições biológicas ideais para a otimização do processo, aumentar a vida útil do aterro com a aceleração da biodegradação, reduz do tempo de extração de biogás e reduz os custos de tratamento de lixiviados. (Reinhart, McCreanor, Townsend, 2011).

Mehta et al (2012) avaliou, por um período de três anos, os efeitos da recirculação por meio da comparação de duas células, uma com recirculação e outra sem recirculação. Os dados demonstram que a recirculação do lixiviado resultou num aumento da produção de metano e do teor de umidade do resíduo, embora esta não uniformemente distribuída ao longo da célula.

POHLAND (1980) ao operar durante 699 dias, dois protótipos que simularam as condições de uma célula de aterro sanitário, tendo como cobertura uma camada de terra de 60 cm em sua superfície, assim como ocorre em aterros sanitários. Em ambos os processo simulou precipitações para obter a geração de lixiviados. Em um dos protótipos realizou a recirculação do lixiviado gerado, enquanto no outro adicionava o volume equivalente de água, de forma a manter a umidade semelhante nos dois experimentos. Os resultados mostraram um rápido decaimento na concentração dos poluentes (DQO, DBO e COT) principalmente após a recirculação diária, pois promoveu a contínua exposição dos nutrientes e da matéria orgânica à população biológica presente na massa de resíduo.

Karthikeyan et. al. (2007) pesquisaram o tratamento anaeróbio dos resíduos em lisímetros, no qual foi recirculado lixiviado. Os resultados revelaram a diminuição substancial na matéria orgânica do lixiviado, expresso pela redução de 99% DBO, 88% para DQO, 81% para COT e 5% da presença de nitrogênio.

MATERIAIS E MÉTODOS

A primeira etapa desta fase foi identificar e georeferenciar todos os drenos existentes no aterro de Rio Claro. Nesse sentido, utilizou-se o programa GPS TrackMaker e imagem de satélite do Google Earth. A metodologia para a seleção dos drenos para a primeira fase teve por princípio selecionar drenos localizados em áreas com as seguintes características:

- com distintos tempos de disposição de resíduo;
- com distribuição uniforme ao longo da área de disposição de resíduos;
- com e sem a prática de recirculação do lixiviado;
- drenos com e sem chama.

Desta maneira, o aterro foi dividido em áreas que apresentavam resíduos com idades semelhantes, com e sem a prática de recirculação. Para cada uma das áreas foi selecionado um dreno para representa-la, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: Características dos drenos monitorados.

Número dos drenos monitorados	Localização	Características da área do do aterro
1	Célula antiga	Área com resíduos entre 7 e 9 anos de aterramento. Área sem recirculação de lixiviado.
5	Célula antiga.	Área com resíduos entre 7 e 9 anos de aterramento. Área com recirculação de lixiviado.
19	Adjacente à área de alteamento.	Resíduo com tempo de disposição entre 3 e 5 anos. Área com recirculação de lixiviado
28	Adjacente à área de alteamento.	Resíduo com tempo de disposição entre 3 a 5 anos. Área sem recirculação de lixiviado.

A análise da influência da recirculação de lixiviado na produção de biogás foi realizada comparando-se os valores de vazão e composição do biogás em áreas com recirculação (drenos números 5 e 19) e isenta (drenos números 1 e 28), com o mesmo tempo de disposição (dreno nº 5 com o nº 1; dreno nº 19 com nº 28).

A comparação dos dados foi realizada por um período de 10 meses, com frequência de medição de 15 dias, período que compreendeu a prática de recirculação de lixiviado no aterro. A Figura 1 apresenta a localização dos drenos monitorados nesta fase com a especificação das subáreas do aterro.

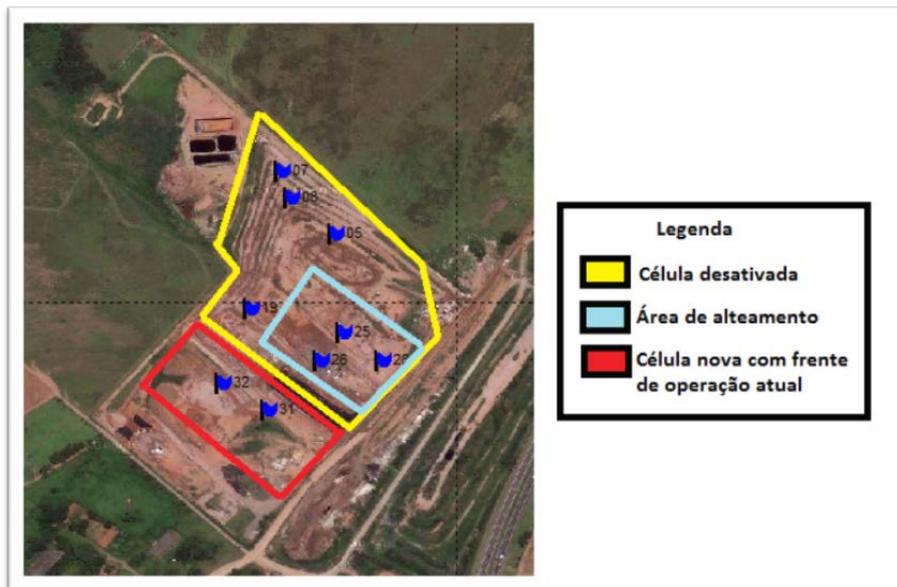


Figura 1: Divisão da área do aterro sanitário de Rio Claro-SP utilizadas no estudo

As medidas de composição do biogás foram realizadas por instrumento portátil marca LANDTEC, modelo GEM-2000, com precisão de 3%. O aparelho fornece as porcentagens (v/v) de metano, dióxido de carbono e oxigênio, a pressão barométrica absoluta e relativa e a temperatura do biogás. Para evitar a interferência do ar atmosférico, principalmente nos dias de maior intensidade de vento, os drenos foram selados com plástico filme 1 hora antes da realização das medidas de biogás.

Com a finalidade de investigar a interferência do tempo de vedação do dreno na concentração de metano do biogás, foram realizadas medições em duas situações distintas: dreno com 24 horas de vedação e com 1 hora de vedação. As duas situações apresentaram resultados semelhantes. Desta maneira, foi padronizada a medição do biogás após 1 hora de vedação.

O procedimento para medir a composição do biogás foi: apagar a chama (Figura 2A), resfriar o dreno com água (Figura 2B), selar o dreno com plástico filme (Figura 2C) e após uma hora medir as concentrações de CH₄, CO₂ e O₂ e temperatura do biogás utilizando o equipamento LANDTEC GEM-2000 (Figura 2D). As sondas de gás e de temperatura eram inseridas no plástico filme utilizado para vedar o dreno, conforme apresentado na Figura 2D. A inserção da sonda no dreno de gás foi padronizada em 10 cm.

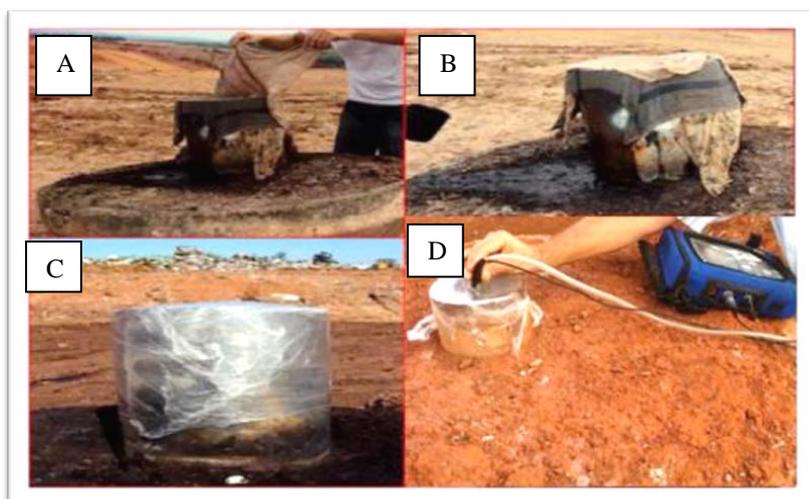


Figura 2- Procedimento para aferição da composição do biogás.

A aferição da vazão do biogás nos drenos foi obtida com a multiplicação da velocidade do gás pela área da seção do dreno. As medidas de velocidade foram realizadas com o auxílio de termo-anemômetro digital portátil com precisão de 5%.

Devido à baixa velocidade do biogás em alguns drenos e a interferência do vento, foram construídos adaptadores de chapa galvanizada semelhantes a “chaminés” (Figura 3) para aumentar a velocidade do biogás e ao mesmo tempo diminuir a interferência do vento. O valor da velocidade considerada no cálculo da vazão foi a média de 6 medidas realizadas em intervalos de 10 segundos.

Para garantir a aferição da velocidade em regime laminar, o ponto de inserção do anemômetro no adaptador seguiu a orientação da norma E-15011/1997 da CETESB para amostragem de gás em dutos, que determina uma distância mínima de duas vezes e meia o diâmetro do tubo (2,5. d) de qualquer variação de seção.



Figura 3 – (A) Termo-anemômetro digital portátil TESTO modelo 405-V1; (B) Adaptadores confeccionados no diâmetro dos drenos; (C) Medição da velocidade do biogás no dreno.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, na Figura 4 é apresentado o gráfico com a vazão de biogás em drenos localizados em áreas com e sem a prática de recirculação, com diferentes tempos de aterramento, e a precipitação ocorrida no período.

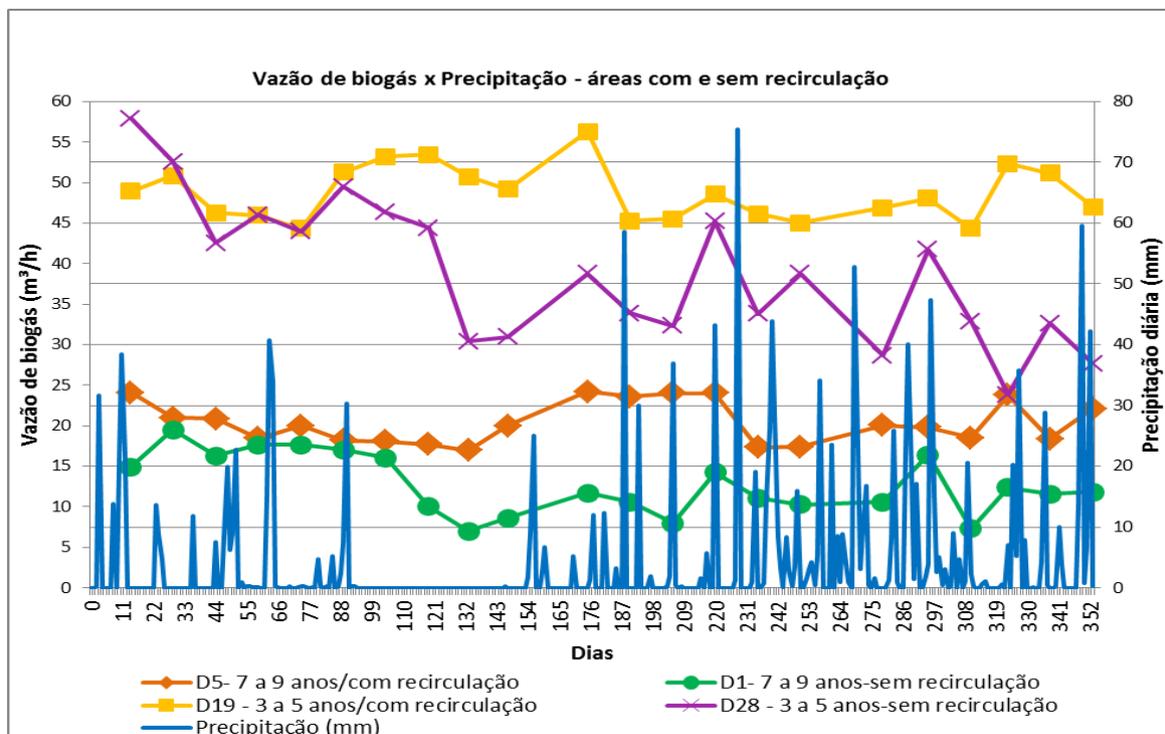


Figura 4- Comportamento da vazão de biogás dos drenos localizados em áreas com tempo de disposição de resíduos entre 7 a 9 anos e 3 a 5 anos, com e sem a prática de recirculação de lixiviado.

A partir da análise da Figura 4, observa-se que os valores de vazão de biogás são mais constantes nos drenos localizados em áreas com recirculação de lixiviado (D5 e D19), quando comparados com os valores obtidos em drenos fora da área de recirculação (D1 e D28), para resíduos de mesma idade (tempo de disposição no aterro).

Em períodos de estiagem como, por exemplo, entre os dias 90 e 144, a redução da vazão é mais acentuada nos locais sem recirculação (D1 e D28) em relação aos drenos com recirculação (D5 e D19), nos quais os valores permanecem praticamente constante. Assim, pode-se concluir que a prática de recirculação do aterro contribui para a manutenção dos teores de umidade necessários para a manutenção da atividade biológica, principalmente nos períodos de estiagem. Cabe destacar que a prática de recirculação realizada diariamente contribuiu para a manutenção constante da porcentagem de umidade ao longo do tempo. O Quadro 2 apresenta os dados de média, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação da vazão de biogás nos drenos com e sem recirculação.

Quadro 2- Valores de média, mediana, desvio padrão e do coeficiente de variação da vazão de biogás nos drenos números 1,5, 19 e 28.

	Vazão D-5 (7-9 anos) com recirculação	Vazão D-1 (7-9anos) sem recirculação	Vazão D-19 (3-5anos) com recirculação	Vazão D-28 (3-5anos) sem recirculação
Média (m3/h)	20,38	12,75	48,67	38,85
Mediana (m3/h)	19,99	11,76	48,28	38,76
Desvio padrão	2,58	3,69	3,35	8,86
Coeficiente de variação	0,127	0,290	0,069	0,228

A comparação dos valores dos drenos com mesmo tempo de disposição de resíduos (D5 com D1 e D19 com D28) permite auferir que a vazão média é maior nos drenos com recirculação, para resíduos com o mesmo tempo de disposição. O menor valor do desvio padrão e do coeficiente de variação obtido nas áreas com recirculação (D5 e D19) em relação aos valores sem recirculação (D1 e D28), comprova que a recirculação contribui para a manutenção da atividade biológica mesmo em períodos de estiagem, mantendo valores mais constantes de vazão de biogás. Destaca-se que, em projetos de captação e aproveitamento de energético do biogás, a produção constante de gás facilita o dimensionamento e aumenta o desempenho do sistema.

Observa-se ainda que a influencia da recirculação na vazão do biogás é mais acentuada em áreas com resíduos mais novos (comparação D19 e D28), possivelmente pela maior disponibilidade de resíduos orgânicos passíveis de degradação, maior intensidade da atividade biológica, que por sua vez demandam maior quantidade de água para o processo, portanto, mais suscetível a variação de umidade.

Por outro lado, os maiores valores de vazão média e mediana nas áreas com recirculação sinalizam que, além de manter a atividade mais constante, a recirculação contribui também para acelerar o processo de degradação, possivelmente porque a presença de microrganismos no lixiviado contribui para inocular e aumentar a concentração destes na massa de resíduos aterrados.

Finalmente, pode-se concluir que a recirculação de lixiviados em aterros sanitários contribui para acelerar o processo de degradação (estabilização) do material orgânico presente nos resíduos, constituindo-se em uma maneira de otimizar a produção de gás em aterros sanitários. Porém, novamente deve-se ressaltar que a recirculação não é permitida pelo órgão ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), pois a prática sem controle e monitoramento da estabilidade dos taludes pode aumentar o potencial de risco de deslizamento, pela saturação da massa de resíduos.

Já a concentração de metano (em volume v/v%) no biogás em áreas com e sem a recirculação de lixiviado teve pouca variação, o que permite auferir que esta prática não influencia na porcentagem de metano do biogás. O baixo de valor do coeficiente de variação (Quadro 3) em todos os drenos demonstra a constância do processo.

A Figura 5 apresenta o gráfico da variação da concentração de metano em áreas com e sem recirculação, para resíduos com tempo de disposição de 3 a 5 anos e 7 a 9 anos. O Quadro 3 apresenta os valores médios, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação para os dados.

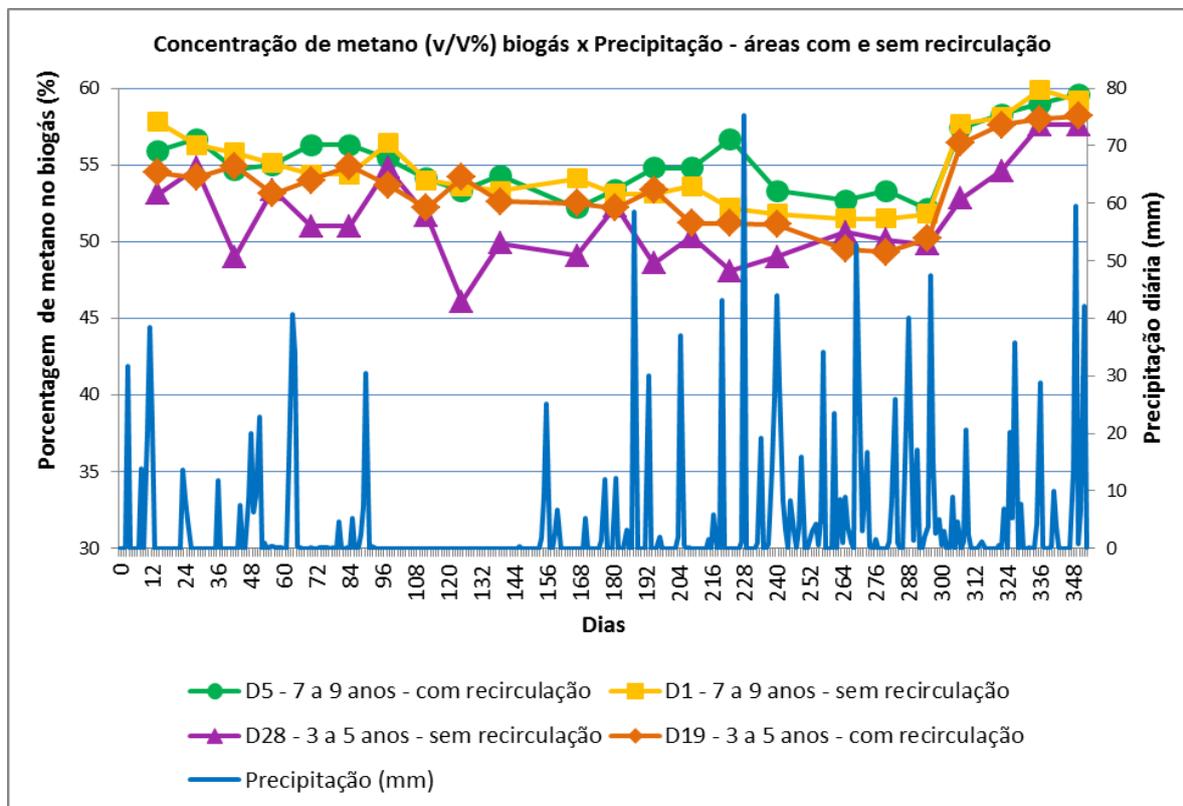


Figura 5- Variação da porcentagem da concentração de metano (v/v) no biogás em áreas com e sem recirculação de lixiviado.

Quadro 3 - Valores de média, mediana, desvio padrão e do coeficiente de variação da concentração de metano presente no biogás (v/v).

	Porcentagem de metano (v/v) D-5 (7-9 anos) com recirculação	Porcentagem de metano (v/v) D-1 (7-9anos) sem recirculação	Porcentagem de metano (v/v) D-19 (3-5anos) com recirculação	Porcentagem de metano (v/v) D-28 (3-5anos) sem recirculação
Média (m ³ /h)	55,20	54,73	53,44	51,53
Mediana (m ³ /h)	54,80	54,10	53,40	51,00
Desvio padrão	2,10	2,51	2,52	2,95
Coeficiente de variação	0,04	0,05	0,05	0,06

CONCLUSÕES

Com base nos resultados pose-se concluir que:

- A vazão de biogás nos drenos localizados em áreas com a prática de recirculação de lixiviado foi, em média, 59,8% maior do que a vazão dos drenos localizados em áreas sem recirculação, para resíduos com o mesmo tempo de disposição (entre 7 e 9 anos). Em áreas com resíduos mais recentes, com 3 a 5 anos de disposição, a vazão média superou em 25,2% a obtida em áreas sem recirculação. O período de monitorado foi de 11 meses, com frequência quinzenal de aferição;

- O menor coeficiente de variação apresentado pelos valores de vazão de biogás em áreas com recirculação (0,069 e 0,127) em relação às sem recirculação (0,228 e 0,290) sinalizaram que esta prática contribui para a manutenção mais constante do teor de umidade da massa de resíduos, favorecendo a estabilidade do processo e a atividade biológica;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE; MGM INNOVA. Atlas brasileiro de emissões de GEE e potencial energético na destinação de resíduos sólidos. São Paulo.2013
2. BRASIL. Decreto no 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. 2010.
3. CASTRO, M. C. A. A. de. Avaliação de um sistema australiano de lagoas no tratamento conjunto de esgoto sanitário e líquidos percolados. 246 p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
4. 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, Venice 2101-Third International Symposium on Energy From Biomass and Waste. Padova: Eurowaste-IWWg, 2010. v.1. p.212-216.
5. CHIEMCHAI SRI, C; CHIEMCHAI SRI, W; SUNIL KUMAR; HETTIARATCHI J. P. A.; Solid waste characteristics and their relationship to gas production in tropical landfill. Environ. Monit. Assess, 135:41–48; 2007.
6. CHRISTENSEN, T.H Present and Long-Term Composition of MSW Landfill Leachate: A Review. Artigo. Environmental Science and Technology. V. 32, (4), p. 297 - 336, 2007.
7. Duran; C. A Latanze, R.; Junior, R. P. Avaliação da geração de biogás em ensaio de redução de volume por compressão em amostras de resíduo sólido urbano de Ribeirão Preto. In 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.20 a 25 de setembro de 2009 - Recife/PE. Anais.
8. FRANCESCHI, F.R.A.; CASTRO, M.C.A.A.;MOREIRA, C.A. Avaliação do comportamento da temperatura dos resíduos e do biogás em um aterro sanitário para estimativa de geração de energia. In 8º. Congresso Internacional de Bioenergia. Anais. São Paulo.2013.
9. KARTHIKEYAN, O. P.; SWATI, M.; NAGENDRAN, R.; JOSEPH, K. Performance of bioreactor landfill with waste mined from a dumpsite. Springer Science+Business Media . p. 141-151. 2007
10. LACOB OAEA, C.; PETRESCU, F. landfill monitoring using remote sensing: A case study of Glina, Romania. Waste Management & Research 1075-1080. 2013
11. MEHTA, R. BARLAZ,M.A. YAZDANI,R. AUGENSTEIN,D. BRYARS,M. SINDERSON, L. Refuse Decomposition in the Presence and Absence of Leachate Recirculation. Artigo. Journal of Environmental Engineering, Vol. 128, No. 3, pp. 228-236.2012
12. MENDES, L.G.M. SOBRINHO, P.M. Comparação entre métodos de estimativa de geração de biogás em aterro sanitário. 134p. Artigo. Revista Biociências vol. 13, 2007.
13. OZKAYA, B. DEMIR, A, BILGILI, M. S. Mathematical simulation and long-term monitoring of leachate components from two different landfill cells. Artigo. Journal of Hazardous Materials[online]. Vol.135, p 32-39. 2006.
14. PALMISANO, A.C.; MRUSCIK, D.A.;SCHWAB, B.S. Enumeration of fermentative and hydrolytic micro-organisms from three sanitary landfills. Journal of General Microbiology, v. 139, p. 387-391, 1993.
15. POHLAND, F. G.; GOULD, J. P. Co-disposal of municipal refuse and industrial waste sludge in landfills. Water Science Technology. v.18, n.12, p.177-192, 1986.
16. POHLAND, F.G. Leachate recycle as landfill management option. Journal of the Environmental Engineering Division. ASCE, Vol. 106. no. EE6. p.1057-1069. December. 1980.
17. POHLAND, F.G. Sanitary landfill stabilization with leachate recycle and residual treatment. EPA - Environmental Protection Agency. Washington, D.C. Outubro. 1975.
18. REINHART, D., MCCREANOR, P., TOWNSEND, T. The bioreactor landfill: Its status and future.Artigo. WasteManage Res,vol. 20, pp.172–186, 2011.
19. TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL S. Integrated solid waste management: engineering principles and management issues. USA: McGraw-Hill, 1993. 978 p.