

Proposta de procedimento operacional padrão para o teste do Potencial Bioquímico do Metano aplicado a resíduos sólidos urbanos

Proposal for procedure standard for Biochemical Methane Potential test applied to municipal solid waste

Gardenia Azevedo Silva¹, Joácio Araújo Morais Jr.², Elisângela Rodrigues Rocha³

RESUMO

O biogás é proveniente da decomposição anaeróbica natural da matéria orgânica. A energia obtida através do principal componente, metano (CH₄), representa uma faixa de 50 a 65% em volume do total de biogás gerado e um poder calorífico de, em média, 9,9 kWh/m³ em condições normais de temperatura e pressão (CNTP). Diante dos benefícios energéticos e da prevenção de emissões gases tóxicos, limitando-se a carência de normas técnicas (NBR's) no Brasil referente a um procedimento para a determinação da produção do biogás, foram estudados, testados e analisados alguns métodos de caracterizações e monitoramentos dos principais fatores envolvidos no processo de degradação dos resíduos sólidos urbanos (RSU) para o aproveitamento energético do biogás, resultando, desta forma, na proposta de um procedimento operacional para o teste do Potencial Bioquímico do Metano (BMP). O teste resultou em dados positivos comparados a trabalhos já realizados na literatura, o qual obteve um volume médio de 282,7 NL.kg⁻¹MS de biogás em 90 dias.

Palavras-chave: biogás; teste BMP; produção de metano; caracterização gravimétrica e resíduos sólidos urbanos.

ABSTRACT

Biogas is derived from the natural aerobic decomposition of the organic matter. The energy obtained through the main component, methane (CH₄), represents a range of 50 to 65% in total volume of biogas generated and a calorific value on average 9,9 kWh/m³ in normal temperature and pressure (NTP) conditions. Before the energetic benefits and the prevention of toxic gases emission, limited to a lack of technical standards in Brazil (NBRs) concerning a procedure for the determination of the biogas production, some methods of characterization and monitoring of the main factors involved in the urban solid waste degradation for exploitation of biogas were studied, tested and analyzed, resulting in the proposal of an operating procedure for de Biochemical Methane Potential (BMP) test. The test resulted in positive data in comparison with the previous periods figures, which obtained a medium volume of 282.7 NL.kg⁻¹MS of biogas in 90 days.

Keywords: biogas; BMP teste; methane production; gravimetric characterization and urban solid waste.

INTRODUÇÃO

A questão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil tem sido amplamente discutida com a sociedade diante da viabilidade do aproveitamento do resíduo, principalmente para fins energéticos. O mais recente estudo feito pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2014) afirma que, no Brasil, 215.297 toneladas de resíduos sólidos urbanos forão produzidas por dia em 2014 sendo, em média, 50% de resíduo orgânico. Projetos específicos de aterros sanitários com fins energéticos vêm ganhando importância a cada dia, favorecendo

não só a transformação dos resíduos sólidos através da decomposição da fração orgânica, em condições anaeróbicas, em biogás, como também minimizando os impactos ambientais desta atividade. A energia contida no biogás provém basicamente do percentual de metano (CH₄), o qual em condições favoráveis representa a faixa de 50 a 65% em volume do total de biogás gerado, obtendo um poder calorífico na média de 9,9 kWh.m⁻³ (FIRMO, 2006 *apud* ALVES, 2008). O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (2010) estimou a produção de energia potencial em 56 municípios no país, considerando a vazão de biogás no

¹Química Industrial pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Doutoranda especial em Engenharia Urbana e Civil pela UFPB - João Pessoa (PB), Brasil.

²Engenheiro Civil pela UFPB. Doutor em *Sciences et Techniques du Déchet* pelo *Institut National des Sciences Appliquées de Lyon* - Lyon, França.

³Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Doutora em Saneamento Ambiental na Universidade Federal do Ceará (UFC) - Fortaleza (CE), Brasil.

Endereço para correspondência: Gardenia Azevedo Silva - Rua Joaquim Borba Filho, 555 - 58053-110 - João Pessoa (PB), Brasil - E-mail: gardenia_quimica@hotmail.com

Recebido: 07/05/14 - **Aceito:** 02/06/15 - **Reg. ABES:** 134484

decênio 2010/2020 e o resultado apontou que há a possibilidade de se ter uma capacidade instalada de geração de 311 MW, o que, segundo o estudo, poderia abastecer uma população de 5,6 milhões de habitantes.

Para a obtenção do biogás encontra-se uma variedade de métodos, porém não há normas técnicas no país que abordem métodos de avaliação da geração e emissões de gases nos aterros. Segundo a CETESB/SMA (2003) citado por Mendes e Sobrinho (2005), dentre estes métodos existentes, há aqueles que consideram somente a quantidade de resíduo sólido doméstico disposta no aterro, até outros que consideram uma cinética de geração de biogás em função de importantes de parâmetros, podendo, dessa forma, induzir ao erro no que diz respeito a estimativa de geração de biogás.

O teste do Potencial Bioquímico do Metano (BMP) monitora o volume do biogás gerado em uma fração de resíduos sólidos urbanos, avaliando a capacidade de biodegradação dos resíduos através da produção total de CH_4 . Os ensaios são monitorados através de medições constantes de pressões e temperaturas internas além da pressão ambiente. Para a realização do teste BMP, são inoculadas amostras contendo uma pequena fração de resíduo sólido, meio de cultura e inóculo.

Com o propósito de obter um procedimento operacional para o teste BMP, foi realizado um levantamento dos métodos encontrados na literatura e adaptado a uma metodologia, a qual foi executada desde a caracterização dos resíduos até a estimativa de geração de biogás. O teste BMP se apresenta como excelente ferramenta experimental para avaliação do potencial energético em aterros sanitários.

METODOLOGIA

Para a elaboração do procedimento operacional foram realizados testes e definidas cinco etapas descritas abaixo. O resíduo sólido caracterizado e utilizado nos testes foi proveniente do aterro sanitário metropolitano de João Pessoa (PB) (ASMJP).

Etapas 1 - Seleção do inóculo

Deve-se coletar a amostra numa profundidade de aproximadamente 30 cm da superfície, em área que contenha chegada frequente de resíduo líquido, a fim de evitar um lodo saturado. Manter a 10°C . Para a inoculação do teste BMP, a amostra deverá ser incubada a 35°C , 24 h antes do procedimento, para ativação da biomassa. A amostra deverá apresentar uma quantidade de biomassa favorável, pH neutro e ser líquida ou semissólida, em meio anaeróbico, para não interferir no desempenho do processo de digestão anaeróbia. Ressalta-se que todos os parâmetros devem ser analisados em triplicata. Caso a amostra não atenda os resultados de pH entre 7 e 8 e STV maior que 60 g.L^{-1} , deverá ser realizado a aclimação. Para a aclimação, deverá ser definido a quantidade de inóculo a ser usado no teste BMP; calcular a quantidade da glicose conforme a quantidade do STV do inóculo; preparar a

solução nutritiva ($3,0 \text{ g.L}^{-1}$ de KH_2PO_4 + $2,0 \text{ g.L}^{-1}$ de K_2HPO_4 + $0,5 \text{ g.L}^{-1}$ de NH_4Cl + $5,0 \text{ g.L}^{-1}$ de NaHCO_3) conforme Bidone e Povinelli (1999) *apud* Barcelos (2009); definir o planejamento fatorial que será usado no teste, ou seja, escolher entre as variáveis principais (temperatura, tempo, concentração da glicose, concentração do lodo); preparar as amostras contendo resíduo, inóculo e solução nutritiva; aclimatá-las em temperatura de 35°C ; fazer o acompanhamento do crescimento da biomassa através das análises físico-químicas: Demanda química de oxigênio total (DQO total), sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV) e sólidos totais fixos (STF). Encontrado a quantidade de biomassa ideal, inocular o teste Potencial Bioquímico do Metano (BMP).

A solução nutritiva deverá ser preparada no momento que for utilizada, com 50% de água destilada e 50% de água potável ou clorada urbana com baixa concentração de cloro. O pH do meio de reação deverá ser entre 6,5 e 7,6.

Etapas 2 - Preparação dos resíduos sólidos urbanos

Os resíduos sólidos devem ser preparados de acordo com a caracterização gravimétrica do aterro em estudo. Esta caracterização corresponde à determinação da composição do resíduo através da separação das categorias. Determinações como teor de umidade e teor de Sólidos Totais Voláteis (STV) são necessárias, principalmente, para indicação da quantidade de matéria orgânica presente na fração pastosa dos RSU.

Neste experimento foi utilizada a caracterização gravimétrica do ASMJP, realizado por Albuquerque e Araújo Morais Jr. (2011), o qual aplicou o método MODECOM (ADEME, 1993), com exceção dos componentes, fralda descartável e absorvente, da categoria "higiene pessoal", os quais não foram adicionados no intuito de eliminar compostos inorgânicos. A amostra biodegradável foi representada por cinco categorias (Tabela 1) e preparada utilizando balanças dos tipos: Balança semi-analítica UNIBLOC UX-620H – $620\text{g}/0,001\text{g}$; Balança de precisão OHAUS – $3100\text{g}/0,01\text{g}$.

Tabela 1 – Composição gravimétrica do aterro sanitário metropolitano de João Pessoa utilizada no experimento.

Categoria	Elemento	Composição (%)	Peso (kg)
Higiene pessoal	Papel higiênico	4,0	0,32
	Guardanapo	1,0	0,08
Resíduo verde	Coco	7,7	0,61
	Folhas secas	3,9	0,30
	Folhas verdes	3,9	0,30
Orgânico	Resto de alimentos	34,9	2,70
Papelão	Papelão	4,6	0,36
Papel	Papel	4,1	0,32
Peso total	-	-	5,00

Procedimento para caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos

Coleta-se no mínimo 10 kg de RSU; faz-se a separação das categorias biodegradáveis. Posteriormente, corta-se, mistura-se e tritura-se em liquidificador. Esse procedimento é demorado, pois há categorias, como no caso do papel e papelão, que demoram a chegar à granulometria ideal. Com o material todo triturado numa granulometria média de 0,6 mm (amostra úmida), retira-se uma quantidade de aproximadamente 300 g para caracterização físico-química e o restante da amostra deverá ser colocada na estufa por 48 h, em temperatura de 80°C (*amostra seca*). Após a retirada da estufa, tritura-se a amostra seca e conserva num recipiente de vidro com tampa; separa-se aproximadamente 100 g da amostra seca para a caracterização físico-química dos parâmetros: teor de umidade, densidade, ST, STV e STF. Caso a amostra seca não seja inoculada no mesmo dia, mantenha refrigerada em aproximadamente 10°C até a inoculação. Deve-se retirar do refrigerador, no mínimo, 8 h antes da inoculação do teste BMP.

Etapa 3 - Inoculação do teste do Potencial Bioquímico do Metano

O meio de reação deverá ser preparado em frascos de vidro Schoth com septo e tampa de rosca, hermeticamente fechado para garantir uma vedação de gás perfeito (Figura 1). As composições dos reatores deverão ser de acordo com a caracterização do resíduo e inóculo em estudo. As composições utilizadas neste teste BMP estão descritas na Tabela 2.

Procedimento para inoculação do teste do Potencial Bioquímico do Metano

Separe os frascos Schoth, septos e tampas de acordo com suas amostras em triplicatas; cubra os frascos com papel alumínio para evitar a penetração de luz; etiquete cada frasco de acordo com os nomes dados, para não serem confundidos durante as análises; pese o inóculo de cada frasco; pese a amostra de RSU. Adicione a solução nutritiva; tampe o frasco e agite devagar por aproximadamente 10 segundos; pese os frascos. Borbulhe o nitrogênio no frasco por aproximadamente 30 segundos. Coloque-os em temperatura de 35°C±5 e deixe descansar por uma hora; Após uma hora, registre a pressão como pressão inicial.

Os reatores deverão permanecer incubados a 35°C±5 em estufa, no mínimo por 90 dias. A Figura 2 ilustra fases do procedimento de inoculação.

Etapa 4 - Monitoramento analítico dos reatores do teste do Potencial Bioquímico do Metano

O monitoramento deverá ser constituído por três parâmetros:

- O primeiro deles será a temperatura: o seu acompanhamento é muito importante devido o crescimento dos micro-organismos na reação. A temperatura não pode ser menor que 30°C nem maior que 45°C, pois poderá haver morte dos micro-organismos por reação

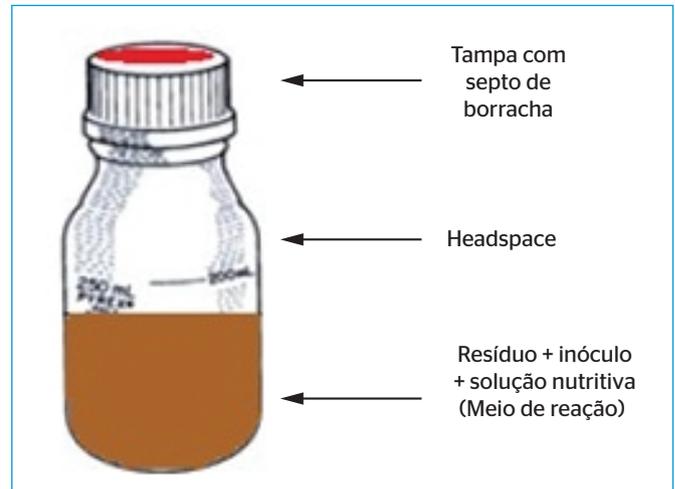


Figura 1 - Desenho ilustrativo do reator (arquivo pessoal).

Tabela 2 - Formulação do meio de reação para inoculação do teste do Potencial Bioquímico do Metano.

Meio de reação	RSU (g)	Solução nutritiva (g)	Inóculo (g)	Inóculo aclimatado (g)
Amostra A	5,0	150,0	10,0	-
Amostra B	10,0	150,0	5,0	-
Amostra C	5,0	-	-	160,0

- lenta ou morte dos micro-organismos mesófilos, por não suportarem altas temperaturas. É importante que existam anotações das máximas e mínimas temperaturas que ocorrerão durante as 24 h.
- O segundo ponto a ser monitorado será a pressão interna: sua medição deverá ser diária e quando houver análise de cromatografia gasosa deverão ser feitas medições antes e depois. A pressão interna foi realizada através do Manômetro Diferencial 2023P7 DIGITRON acoplado a uma agulha de 0,30x13 mm (carbox/Ares). O método é digital com precisão de 2 mbar e medição máxima de 2000 mbar (Figura 3). O procedimento para medição consiste em ligar o aparelho, inserir a agulha no frasco através do septo e esperar o resultado se estabilizar (Figura 3).
- O terceiro parâmetro a ser acompanhado será a cromatografia gasosa: o procedimento para análise cromatográfica ocorre por meio da coleta de 100 µL do biogás no reator anaeróbio utilizando uma seringa de 100 µL; despreza-se 50% do biogás para o ambiente e injeta-se 50 µL do biogás no cromatógrafo gasoso. Em seguida, o gás inerte, normalmente chamado de gás de arraste, neste caso, o hélio, conduz a amostra para a coluna cromatográfica com a função de separar os gases: CH₄, CO₂ e N₂. Após o tempo de retenção do(s) gás(es) na coluna, o registro da análise é apontado pelo detector através do cromatograma. A eliminação dos 50 µL de amostra no procedimento de amostragem foi adotada para se obter um melhor equilíbrio termodinâmico, ou

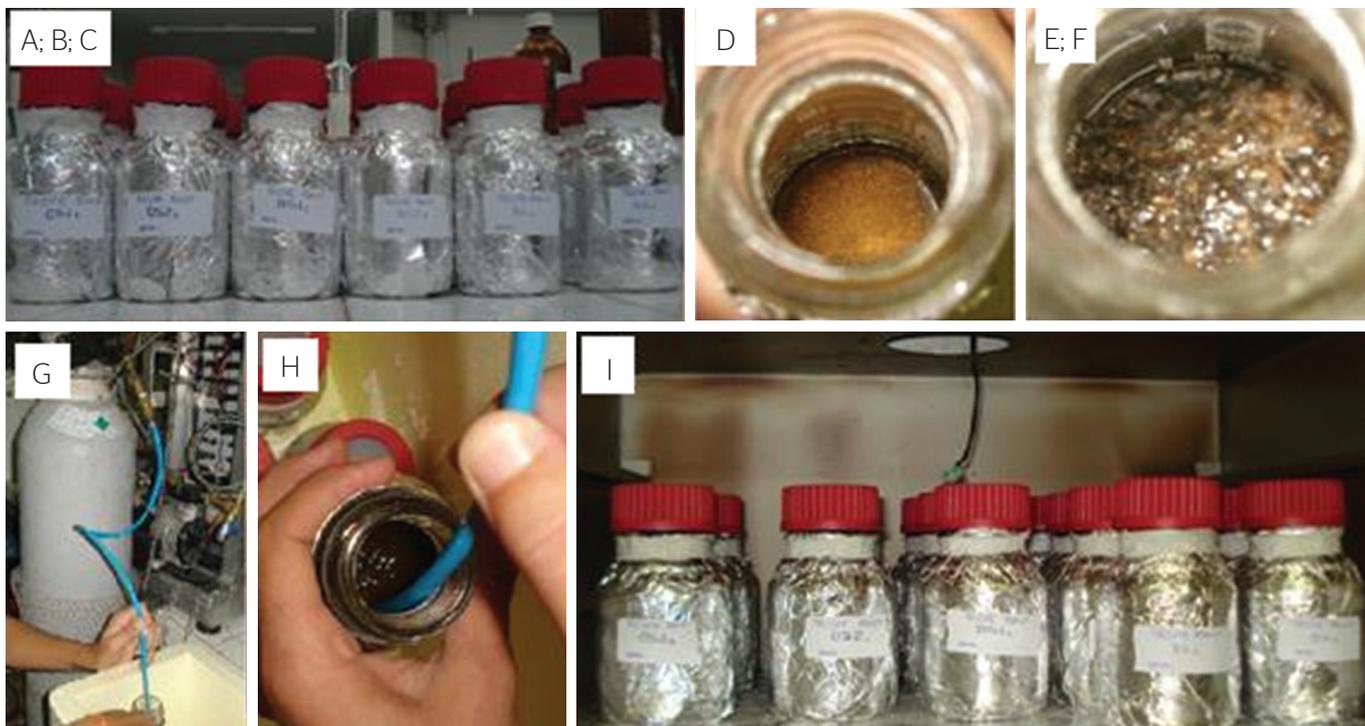


Figura 2 - Ilustração das fases do procedimento da inoculação dos reatores do Potencial Bioquímico do Metano (arquivo pessoal).

seja, para garantir uma amostra mais pura, sem interferência da pressão do ambiente e/ou do vácuo provocado pela seringa no momento da coleta. A Figura 4 ilustra parte do procedimento.

A composição da amostra é determinada comparando a área do pico de cada gás com a área do pico do gás puro (padrão). A porcentagem do biogás, em cada amostra, foi obtida através da soma das áreas dos gases analisados. O cromatógrafo utilizado nessa pesquisa foi o *Gás Chromatograph GC - 2014 - SHIMADZU*, colunas DFID e DTCD.

Etapa 5 - Estimativa de produção do biogás

Para os resultados expressos em litros normais de biogás por quilograma de massa seca em CNTP, têm-se os seguintes cálculos:

1. Volume de biogás produzido por dia (mbar)
2. Volume de biogás gerado entre T e T+1 =
$$= [(PF_{(mbar)} \times VUF_{(L)} \times 22,41) / (83,14 \times TF_{(K)})] \times 1000$$

Onde: T = Tempo (dias) / PF (mbar) = Pressão do frasco em milibar / VUF (L) = Volume útil do frasco em litros / TF (K) = Temperatura do frasco em kelvin.
3. Volume de biogás acumulado CNTP (NmL)
$$= [Volume\ acumulado_{(mL)}] \times [273/TF_{(K)}] \times [(Patm_{(mbar)} - 42)/760]$$

Onde: P_{atm} (mbar): Pressão atmosférica em milibar
4. Volume acumulado de biogás CNTP (NL.kg⁻¹MS)
$$= [Volume\ acumulado\ CNTP\ (NmL) / 1000] / [Massa\ seca\ do\ RSU\ (kg)]$$



Figura 3 - Medição da pressão interna utilizando o manômetro (arquivo pessoal).

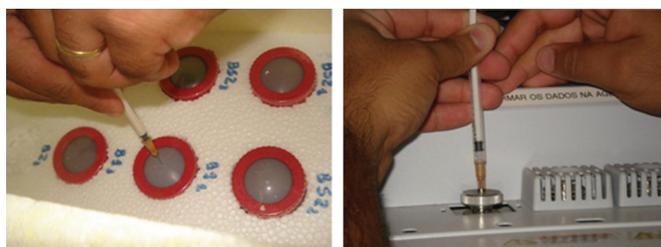


Figura 4 - Coleta do biogás no reator anaeróbico com injeção no cromatógrafo gasoso (arquivo pessoal).

Estes cálculos foram propostos por Harries *et al.* (2001) e Araújo Morais Jr. (2006). Com os resultados obtidos de biogás em $\text{NL.kg}^{-1}\text{MS}$, deve-se relacioná-los aos resultados de metano obtidos na cromatografia gasosa, em percentagem, obtendo o Potencial Bioquímico do Metano (BMP) em $\text{NLCH}_4.\text{kg}^{-1}\text{MS}$. Para tanto, foram utilizadas planilhas do programa Microsoft Works.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o cálculo do volume acumulado de biogás no instante “t”, foi considerada a temperatura interna de 35°C e os tempos (t) estão relacionados diretamente com a duração do teste BMP, os quais foram de 90 dias, tempo pré-oficial do teste BMP, com exceção dos reatores C, o qual durou apenas 66 dias devido a impossibilidades de continuação do trabalho.

Os volumes acumulados de biogás obtidos nos reatores A e C (triplicatas), nos referidos tempos, estão expostos na Tabela 3 e representados graficamente na Figura 5, com o intuito de destacar as diferenças de comportamento, composição e produção de biogás.

Analisando as curvas de produção de biogás representadas na Figura 5, em termos de comportamento, tem-se que, os reatores A tiveram uma velocidade de produção inicial menor que os reatores C, atingindo aproximadamente $100 \text{ NL.kg}^{-1}\text{MS}$ de biogás no 12º dia, enquanto que os reatores C1, C2 e C3, atingiram 103, 110 e $117 \text{ NL.kg}^{-1}\text{MS}$ de biogás, respectivamente, entre o quarto e quinto dia. Porém, os reatores A atingiram aproximadamente $200 \text{ NL.kg}^{-1}\text{MS}$ de biogás no 24º dia, enquanto que o reator C3, obteve no 49º dia.

Em termos de composição tem-se que, a diferença na composição entre os reatores A e C, é o lodo aclimatado utilizado nos reatores C (Tabela 2), as quantidades de RSU são as mesmas. O comportamento da velocidade de reação durante a produção de biogás entre os reatores das amostras A e C deve dar-se por esse fato, porém não houve um estudo detalhado deste aspecto. Observa-se também que os reatores A, apesar de terem uma produção de biogás crescente, tiveram muitas quedas de pressão interna durante o processo de produção, o que pode ter sido ocasionado por instabilidades de temperatura ambiente durante as análises de cromatografia gasosa, já que os equipamentos estavam em laboratórios diferentes.

Em termos de produção de biogás acentuada entre os reatores A e C, tem-se que, o reator A1 foi o que obteve a maior produção, atingindo $282,7 \text{ NL.kg}^{-1}\text{MS}$ em 90 dias, próximo ao resultado de $287,5 \text{ NL.kg}^{-1}\text{MS}$ obtido por Araújo Morais Jr. (2006). O reator C3 obteve um volume de $203 \text{ NL.kg}^{-1}\text{MS}$ em 66 dias, dentro da faixa de 194 a $229 \text{ NL.kg}^{-1}\text{MS}$ obtida por Bayard *et al.* (2005). Pôde-se verificar a ausência dos reatores B na Tabela 3 e na Figura 4, fato ocorrido devido à quantidade insignificante de produção de gás, circunstância que pôde ter sucedido condigno à proporção de 2:1 lodo/resíduo

na composição (Tabela 2). A quantidade duplicada de lodo anaeróbio pode ter possibilitado o sinergismo, reação bioquímica que se dá pelo efeito retroativo da reação, provocando a incapacidade catalítica das enzimas, devido às substâncias que interagem formando toxinas. A possibilidade de vazamento foi descartada devido a testes realizados nos reatores antes do teste BMP.

As análises de cromatografia gasosa mostraram resultados entre 50,6 e 60,9% de metano (CNTP), em 90 dias, nos reatores A. Segundo El-fadel *et al.* (1997) *apud* Aljarallah (1997), a composição típica de gás metano em aterros é de 40 a 70%. Referente aos reatores C, poucas análises de GC foram realizadas devido a problemas institucionais e também ao tempo de produção ser inferior a 90 dias, porém o reator C1 chegou a 22,2 % de metano no 35º dia.

Para a estimativa da produção de biogás do ASMJP, foram utilizados os resultados obtidos na caracterização gravimétrica de Albuquerque e Araújo Morais Jr. (2011) e no teste BMP deste projeto, o qual está representado pelo reator A1, por ter sido o mais eficiente do teste, obtendo valores de volume acumulado de biogás de $282,7 \text{ NL.kg}^{-1}\text{MS}$ e percentagem de 60,9% de CH_4 (Tabela 4).

Tabela 3 - Volume acumulado de biogás em condições normais de temperatura e pressão ($\text{NL.kg}^{-1}\text{MS}$).

Reator	66 dias	90 dias
A1 / A2 / A3	261,27 / 225,26 / 237,82	282,66 / 245,97 / 257,51
C1 / C2 / C3	176,12 / 169,69 / 203,38	-

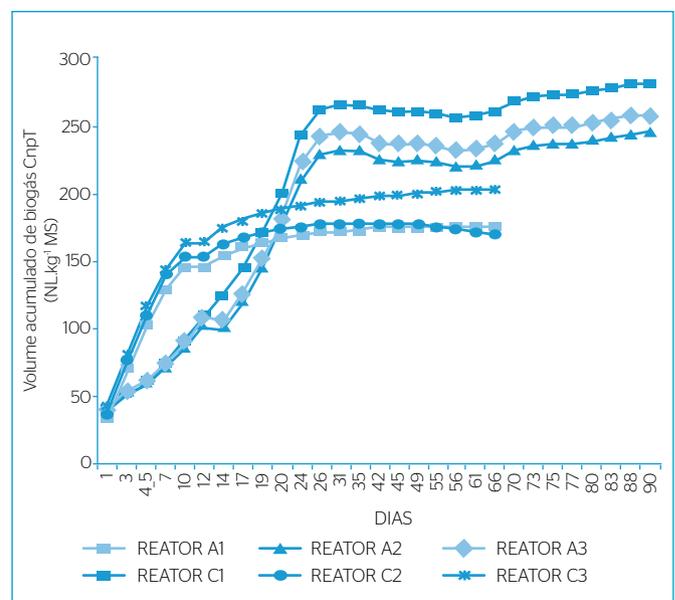


Figura 5 - Comportamento da produção de biogás nos reatores A e C (triplicatas).

Estimou-se uma *produção teórica* de 240.771.120 m³ de biogás no ASMJP (Tabela 4), a qual, segundo informações do ASMJP, foi de 18.020.193 m³ de biogás captada entre o ano de 2003 a 2011, ou seja,

92% maior que a *produção real*. É importante salientar que a produção teórica jamais será atingida devido a alguns fatores, como: tempo de preenchimento das células; microfissuras na camada de cobertura dos platôs e taludes; vazamentos nas canalizações; pois representam a fuga do biogás para a atmosfera.

Tabela 4 - Estimativa da produção de biogás do aterro sanitário metropolitano de João Pessoa.

Célula do aterro sanitário metropolitano de João Pessoa	Resíduo biodegradável (ton/MS)*	m ³ de biogás	m ³ de metano
C1	66.878	18.903.704	11.527.478
C2	73.866	20.879.050	12.732.044
C3	88.995	25.155.325	15.339.717
C4	103.974	29.389.275	17.921.579
C5	104.593	29.564.320	18.028.322
C6	107.246	30.314.177	18.485.585
C7	93.245	26.356.618	16.072.265
C25	150.443	42.524.095	25.931.193
C6/C7	42.802	12.098.363	7.377.582
C4/C6	16.853	4.763.557	2.904.816
C3/C5	2.910	822.636	501.643
Total	851.805	240.771.120	146.822.229

*Parcela biodegradável do resíduo sólido urbano em massa seca

CONCLUSÕES

O procedimento proposto para a realização do teste BMP mostrou-se simples de ser executado e de baixo custo, além da duração da execução ser favorável, quando comparado às condições de decomposição dos RSU em campo. Outro fato importante é a não utilização de manômetros acoplados aos reatores, os quais podem trazer perdas de gases por vazamentos, sendo a medição com manômetro digital mais simples e confiável. Os resultados obtidos no teste BMP, em 90 dias, indicam que 83% dos reatores obtiveram produções de biogás dentro das referências bibliográficas, mostrando resultados coerentes às pesquisas atuais, apontando o quanto é viável a produção e consequentemente, a coleta de biogás no aterro sanitário metropolitano de João Pessoa. Diante dos objetivos alcançados, enfatiza-se a eficiência e a credibilidade no procedimento proposto para o teste BMP.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. (2014) Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. 14^a ed. São Paulo: Grappa.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1987) *NBR10004*: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT.
- ADEME - Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. (1993) *MODECOM™* - Méthode de Caractérisation des Ordures Ménagères. Angers: ADEME.
- ALBUQUERQUE, R.M.Y. & ARAÚJO MORAIS JR, J. (2011) Caracterização dos resíduos sólidos urbanos da região metropolitana de João Pessoa (PB). *In: XV SILUBESA - Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Belo Horizonte.
- ALJARALLAH, R. (1997) Denitrification in a landfill bioreactor with the use of methane as a source of carbon and/or electron donor for denitrification. Tese (Doutorado em Filosofia) - Dalhousie University, Halifax.
- ALVES, I.R.F.S. (2008) Análise experimental do potencial de geração do biogás em resíduos sólidos urbanos. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- ARAÚJO MORAIS JR, J. (2006) Influence des pré-traitements mécaniques et biologiques des Ordures Ménagères Résiduelles (OMR) sur leur comportement bio-physico-chimique en Installation de Stockage de Déchets (ISD). Tese (Doutorado em Ciências Aplicadas) - Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Lyon.
- BARCELOS, B.R. (2009) Avaliação de diferentes inóculos na digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos. Dissertação (Mestrado em Tecnologia ambiental e recursos hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília.
- BAYARD, R.; GACHET, C.; ARCHOUR, F.; BRAUER, C.; GOURDON, R. (2005) Organic matter stabilization of sorted MSW under leachate recirculation. *Proceedings Sardinia. In: 10th International Waste Management and Landfill Symposium*. Cagliari.
- HARRIES C.R.; CROSS C.J.; SMITH R. (2001a) Development of a biochemical methane potential (BMP) test and application to testing of municipal solid waste samples. *In: Proceedings Sardinia. Eighth International Waste Management and Landfill Symposium*. Cagliari: CISA, v. 1, p. 579-588.
- MENDES, L.G. & SOBRINHO, P.M. (2005) Métodos de estimativa de geração de biogás em aterro sanitário. *Revista Ciências Exatas*, v. 2, n. 2, p. 71-76.
- PNUD - Programa das Nações Unidas para o desenvolvimento. (2010) Disponível em: <<http://www.onu.org.br/onu-no-brasil/pnud/>>. Acesso em: 22 ago. 2011.