



III-258 – ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS METAIS PESADOS SOBRE O POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO ATERRO DA MURIBECA-PE

Ingrid Roberta de França Soares Alves⁽¹⁾

Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre em Engenharia Civil – Geotecnia Ambiental pela UFPE. Doutoranda em Engenharia Civil – Geotecnia Ambiental pela UFPE e Bolsista Propesq/UFPE. Pesquisadora do Grupo de Resíduos Sólidos da UFPE (GRS-UFPE). Coordenadora Adjunta do Programa de Apoio a Núcleos de Excelência – PRONEX

Felipe Jucá Maciel

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Pesquisador do Grupo de Resíduos Sólidos da UFPE (GRS-UFPE). Doutorando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Eusileide Suianne Rodrigues Lopes de Melo

Engenheira Química pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestranda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Pesquisadora do Grupo de Resíduos Sólidos da UFPE (GRS-UFPE).

Antonio Rodrigues de Brito

Engenheiro Civil pela Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco (UPE). Mestrando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Pesquisador do Grupo de Resíduos Sólidos da UFPE (GRS-UFPE).

José Fernando Thomé Jucá

Professor do Departamento de Engenharia Civil da UFPE. Doutor pela Universidad Politecnica de Madrid. Coordenador do Grupo de Resíduos Sólidos da UFPE (GRS-UFPE). Coordenador dos Projetos PROSAB-FINEP, PRONEX/FACEPE/CNPq e CHESF/UFPE Consultor do Ministério das Cidades na área de Resíduos Sólidos. Diretor do Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste– CETENE.

Endereço⁽¹⁾: Rua São Geraldo, 127-Santo Amaro, Recife-PE. CEP: 50040-020. Tel: (81) 2126-8224 - e-mail: ingalves@yahoo.com.br

RESUMO

A biodegradação dos resíduos sólidos pode ser influenciada por uma grande variedade de fatores, que podem interferir também na geração de biogás em aterros. No presente trabalho, foram estudadas as influências dos metais pesados (Zn, Mn e Fe) sobre a geração de biogás. Para tanto, foi utilizado o ensaio do potencial bioquímico de metano (ensaio BMP), que avalia a capacidade de biodegradação dos resíduos por meio da produção total de biogás. O metal Zn não mostrou influência significativa sobre a geração de biogás nas duas concentrações estudadas (3 e 7mg/L). Por outro lado, houve influência mais expressiva dos metais Mn e Fe apenas nas maiores concentrações utilizadas, respectivamente 7 e 20 mg/L. É possível que a baixa inibição do Fe nas concentrações inferiores a 20mg/L e a atuação do Zn, de maneira geral, como estimulador da biodegradação, tenha ocorrido devido às participações desses metais como elementos químicos essenciais e constituintes enzimáticos de processos anaeróbios. Com base nesses dados, pode-se sugerir que o ensaio BMP se apresenta como excelente ferramenta experimental para a obtenção de curvas características de geração de biogás em aterros de resíduos sólidos urbanos, e os parâmetros estudados podem interferir na avaliação do potencial de biogás dos resíduos, inibindo ou estimulando a biodegradação.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos Urbanos, Ensaio BMP, Potencial de Geração de Biogás, Metais Pesados, Umidade.

INTRODUÇÃO

Os metais pesados estão presentes no lixo urbano em grande quantidade por estarem em componentes de pilhas, baterias, jornais, tintas, tecidos, enlatados, entre outros. As pilhas e baterias têm como princípio básico converter energia química em energia elétrica utilizando um metal como combustível. Apresentando-se sob várias formas (cilíndricas, retangulares, botões), podem conter um ou mais dos seguintes metais: chumbo (Pb), cádmio (Cd), mercúrio (Hg), níquel (Ni), prata (Ag), lítio (Li), zinco (Zn), manganês (Mn) e seus compostos.



Os metais pesados estão entre os principais agentes tóxicos verificados em processos anaeróbios (BIDONE & POVINELLI, 1999; MONTEIRO, 2001).

Sendo assim, o metabolismo dos microrganismos pode ser afetado por metais em diversos aspectos, tais como respiração, síntese protéica e transporte por membrana, acarretando na diminuição dos níveis de crescimento, aumento da fase lag e mudanças na morfologia e fisiologia dos microrganismos. No entanto, alguns microrganismos podem adquirir adaptações fisiológicas e desenvolver habilidade de crescer em ambientes contaminados por metais pesados (GOMES *et al.*, 1998).

Vale salientar que vários fatores podem determinar se os metais pesados podem ser inibitórios ou estimulatórios, entre eles estão a concentração total do metal, as formas químicas do metal (metais em solução são as formas tóxicas aos microrganismos) e fatores relacionados a processos, tais como pH e potencial redox. Em geral, acredita-se que microrganismos acidogênicos são mais resistentes a toxicidade de metais pesados do que as metanogênicas (ZAYED & WINTER, 2000).

O potencial de influência dos metais pesados no favorecimento ou inibição das atividades bacterianas é de grande importância para o entendimento do comportamento da geração de gases em aterros. Ensaio de fitotoxicidade realizados por Melo e colaboradores (2002), constataram que com o aumento da profundidade de uma célula de lixo houve diminuição do número de microrganismos, da toxicidade dos resíduos e dos níveis de metais pesados, entre eles, Zinco, Cromo, Chumbo e Cobre. Entretanto, os autores sugerem que o número baixo de microrganismos seja devido mais provavelmente à idade avançada da célula do que à concentração de metais pesados, uma vez que o substrato ali depositado estava mais degradado do que o resíduo sólido encontrado nas camadas superficiais.

A literatura também apresenta resultados de concentração de vários metais pesados em lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos. Conforme Oliveira & Jucá (1994), os valores das faixas de concentração de alguns metais pesados analisados, tais como Ferro, Alumínio e Cobre, confirmam a disposição de materiais provenientes das indústrias, aumentando a recalcitrância do percolado, e alertam para a problemática da disposição conjunta de resíduos urbanos e industriais.

Diversas referências citadas na literatura relatam que os metais pesados encontrados em maiores concentrações nos lixiviados de diversos aterros de resíduos sólidos são ferro, manganês e zinco (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993, CHRISTENSEN *et al.*, 2001 *apud* SCHUELER, 2005; SOUTO & POVINELLI, 2007). Tais metais são considerados microelementos, uma vez que funcionam como grupos prostéticos ou cofatores enzimáticos, participando de diversas reações químicas, tais como as que ocorrem durante o processo da biodegradação. De interesse mais imediato para a ação enzimática estão os microelementos essenciais, necessários em quantidades diárias comparadas as das vitaminas, isto é, apenas miligramas ou microgramas. Algumas enzimas requerem para o exercício da atividade um componente químico adicional chamado cofator. Este pode ser inorgânico, como Fe, Mn ou Zn, ou pode ser uma molécula orgânica complexa denominada coenzima (LEHNINGER, 1991; MANAHAN, 2005).

Tais elementos também apresentam outras aplicabilidades, o que pode contribuir para sua presença em aterros, decorrentes dos restos das atividades nas quais estão associados. O Ferro é o metal de transição mais abundante da crosta terrestre e o quarto de todos os elementos. É encontrado em numerosos minerais, e o aço é a liga metálica de ferro mais conhecida, sendo este o seu uso mais frequente. O zinco é empregado na fabricação de ligas metálicas como o latão e bronze, além de ser utilizado na produção de telhas e calhas residenciais. O Manganês é usado em liga com o ferro nos aços e em outras ligas metálicas (MANAHAN, 2005)

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia da pesquisa foi baseada na elaboração e monitoramento do Ensaio BMP. Para tanto, foram utilizados resíduos sólidos provenientes do Aterro da Muribeca-PE, sendo selecionada apenas matéria orgânica para posterior utilização nos referidos experimentos. Os resíduos orgânicos foram originados da caracterização gravimétrica dos resíduos a serem depositados na célula experimental da UFPE/CHESF (Companhia Hidroelétrica do São Francisco) construída no Aterro da Muribeca-PE. Diversas técnicas baseadas no ensaio BMP são descritas na literatura e o presente trabalho utilizou a metodologia descrita por



Hansen *et al.* (2004) e adaptada por Alves (2008). As etapas do ensaio BMP consistiram em: (a) Preparação da amostra; (b) Seleção do inóculo; (c) Circulação da mistura gasosa (N_2/CO_2), incubação e monitoramento dos frascos, com duração de 60 dias.

a) Preparação da amostra

A amostra inicial de resíduos orgânicos utilizados no ensaio BMP (10 Kg), foi submetida a quarteamento, resultando em 2,5 kg que foram posteriormente caracterizados, misturados, cortados e triturados em processador industrial (Cutter – Siemens CR-4L), promovendo a redução do tamanho dos resíduos e a homogeneização da amostra. Uma sub-amostra foi retirada para a determinação de umidade e sólidos voláteis da amostra original. Em seguida, os resíduos processados foram transferidos para um liquidificador e água destilada foi adicionada até atingir um conteúdo final de 20% de resíduo (Figura 1).

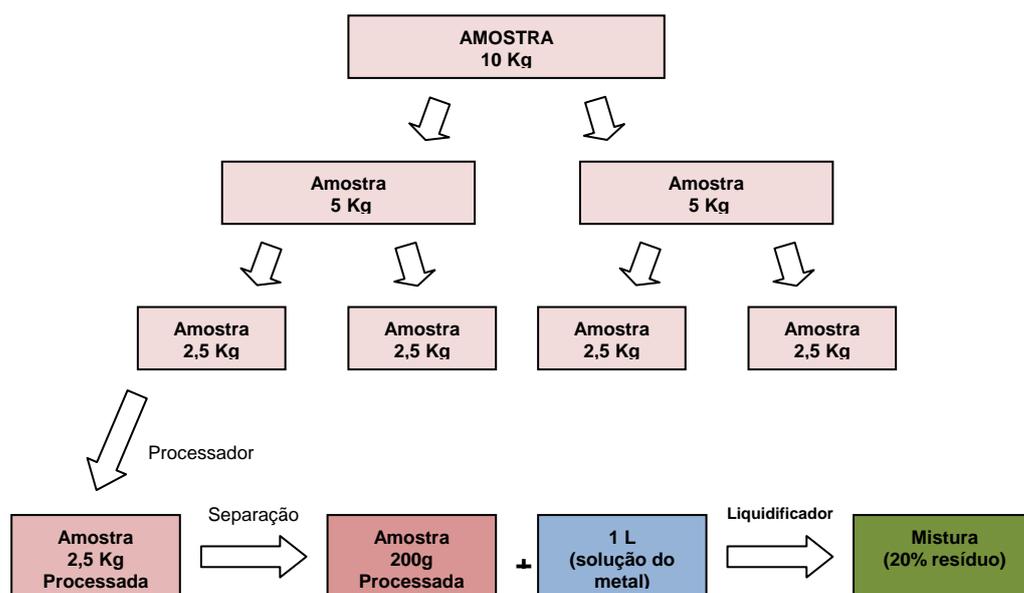


Figura 1. Esquema geral das etapas do quarteamento e processamento das amostras de resíduos utilizados em todos os ensaios

Para a realização dos ensaios, foram utilizados frascos de vidro de 250 mL com tampa rosqueada, acopladas com válvulas de saída e entrada de gás e um manômetro de 1 kgf/cm², com escala de 0,02 kgf/cm², havendo assim controle da pressão interna de cada frasco (Figura 2.a). Os frascos foram envolvidos com papel alumínio para evitar a influência da luz durante o processo de biodegradação.

b) Seleção do inóculo

O inóculo utilizado nos ensaios foi proveniente de um digestor anaeróbico da Estação de Tratamento de Esgoto (Estação de Tratamento Cabanga) pertencente ao Sistema de Esgotamento Sanitário Cabanga da COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento), localizada no município de Recife-PE. A amostra foi submetida a análise de sólidos voláteis e denominada Lodo.Jul.07.

c) Circulação de N_2/CO_2 , incubação e monitoramento dos frascos

Em cada frasco, foram colocados 12,5 ml da mistura “Lixo+Solução do Metal” e esta foi inoculada com 50 ml de lodo. Também foram utilizados frascos apenas com lodo (50 mL), como controle dos experimentos. Em seguida, os frascos foram fechados e submetidos à circulação de uma mistura gasosa contendo 80% de N_2 e 20% de CO_2 , com o objetivo de proporcionar a eliminação da atmosfera aeróbia estabelecida nos frascos (Figura 2.b). Após cerca de dois minutos de entrada e saída da mistura gasosa, as válvulas foram fechadas e o manômetro acoplado. Os frascos foram então incubados a 37°C durante 60 dias e, neste período, as pressões internas e ambiente, bem como as temperaturas, foram monitoradas diariamente (Figura 2.c).



Figura 2. Etapas seguintes do Ensaio BMP: (a) Recirculação da mistura N₂/CO₂ nos frascos; (b) Fechamento do frasco e colocação do manômetro; (c) Frascos incubados na estufa (37°C).

Ensaio BMP com Metais Pesados (Zn, Mn e Fe)

Foram testadas diferentes concentrações dos metais Zinco (Zn) e Manganês (Mn), selecionando-se duas concentrações para cada metal (2 e 7 mg/L). O primeiro ensaio com metais pesados (Ensaio BMP com Zn e Mn) foi realizado com a amostra denominada Lixo.Jul.07. No segundo ensaio, denominado Ensaio BMP com Fe, a amostra utilizada foi denominada Lixo.Nov.07, testando o metal Ferro (Fe), em três diferentes concentrações (2, 7 e 10 mg/L). A seleção das concentrações foi baseada na média dos valores encontrados nos lixiviados de diversos aterros. O esquema geral dos procedimentos experimentais utilizado no Ensaio BMP com Zn e Mn e no Ensaio BMP com Fe estão detalhados nas Tabela 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Esquema geral dos procedimentos experimentais realizados no Ensaio BMP com Zn e Mn.

Amostra	Volume total do frasco (mL)	Volume de solução (lixo+água) (mL)	Volume de lodo (inóculo) (mL)	Headspace (mL) *	Tempo de circulação de N ₂ /CO ₂ (min)	Temp. de incubação (°C)
(Lixo + Lodo) Jul.07	250	12,5	50	187,5	2	37
(Lixo + Lodo 25mL) Jul.07	250	12,5	25	212,5	2	37
Lodo Jul.07	250	----	50	200	2	37
Lixo Jul.07	250	12,5	----	237,5	2	37
Zn.3mg/L (Lixo + Lodo + Metal)	250	12,5	50	187,5	2	37
Zn.7mg/L (Lixo + Lodo + Metal)	250	12,5	50	187,5	2	37
Mn.3mg/L (Lixo + Lodo + Metal)	250	12,5	50	187,5	2	37
Mn.7mg/L (Lixo + Lodo + Metal)	250	12,5	50	187,5	2	37

* Espaço do frasco ocupado pelo biogás gerado na biodegradação.



Tabela 2. Esquema geral dos procedimentos experimentais realizados no Ensaio BMP com Fe.

Amostra	Volume total do frasco (mL)	Volume de solução (Lixo+Água) (mL)	Volume de lodo (inóculo) (mL)	Headspace (mL) *	Tempo de circulação de N ₂ /CO ₂ (min)	Temp. de incubação (°C)
(Lixo + Lodo)Nov.07	250	12,5	50	187,5	2	37
Lodo Nov.07	250	----	50	200	2	37
Fe.2mg/L (Lixo +Lodo + Metal)	250	12,5	50	187,5	2	37
Fe.7mg/L (Lixo +Lodo + Metal)	250	12,5	50	187,5	2	37
Fe.20mg/L (Lixo +Lodo + Metal)	250	12,5	50	187,5	2	37

* Espaço do frasco ocupado pelo biogás gerado na biodegradação.

RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta os resultados das análises de umidade e sólidos voláteis das amostras de resíduos e lodo, respectivamente, Lixo.Jul.07, Lixo.Nov.07 e Lodo.Jul.07. Pode-se sugerir que as amostras analisadas apresentaram teor de sólidos voláteis ideal para a ocorrência do processo de degradação dos resíduos, uma vez que em experimentos realizados por Olivier e colaboradores (2005), resíduos sólidos recém-chegados ao aterro apresentaram valor total de matéria orgânica de 68,82%. De maneira geral, a faixa média de sólidos voláteis para resíduos sólidos pode variar de valores próximos a 45% e até mesmo atingir 90%, dependendo do tipo de amostra analisada (PALMISANO & BARLAZ, 1996; WANG *et al.*, 1997; GUNASEELAN, 2007).

Tabela 3 Valores de Umidade e Sólidos Voláteis das amostras de resíduos no ensaio BMP e nos Biorreatores.

Amostra	Parâmetros analisados	
	Umidade (%)	Sólidos Totais Voláteis (%)
Lixo Jul.07	40,0	49,2
Lodo Jul.07	----	83,2
Lixo Nov.07	43,5	56,9
Lodo.Nov07	----	44,7

O ensaio BMP realizado para testar a influência dos metais Zinco (Zn) e Manganês (Mn) foi realizado com a amostra de lixo denominada Lixo.Jul.07. Analisando a Figura 3, que ilustra a taxa de geração de biogás dos frascos no Ensaio BMP com os metais Zn e Mn, nota-se que, para todos os frascos, durante os 60 dias de monitoramento, houve maior produção de biogás entre o 1º e o 5º dia, apresentando posteriormente pequenas oscilações e permanecendo praticamente constante do 15º em diante. Este comportamento caracteriza a geração acelerada de biogás devido à quantidade de amostra utilizada no ensaio (2,5g), uma vez que, quanto maior a quantidade de resíduos, mais lenta será a biodegradação.

A máxima produção de biogás acumulada no ensaio BMP foi atingida pela amostra Zn.7 mg/L, produzindo aproximadamente 238,0 NmL de biogás e taxa de geração máxima de 29,0 NmL/dia (Tabela 4). De maneira geral, o comportamento das demais amostras foi bastante similar, com a exceção da Mn.7mg/L, que obteve uma geração acumulada de 94,5 NmL. Sendo assim, o potencial de geração de biogás obtido para esta amostra foi negativo, uma vez que o gerado por ela foi inferior ao gerado pela amostra de lodo, utilizada como controle do experimento. Os valores do potencial das demais amostras estão descritos na Tabela 4.

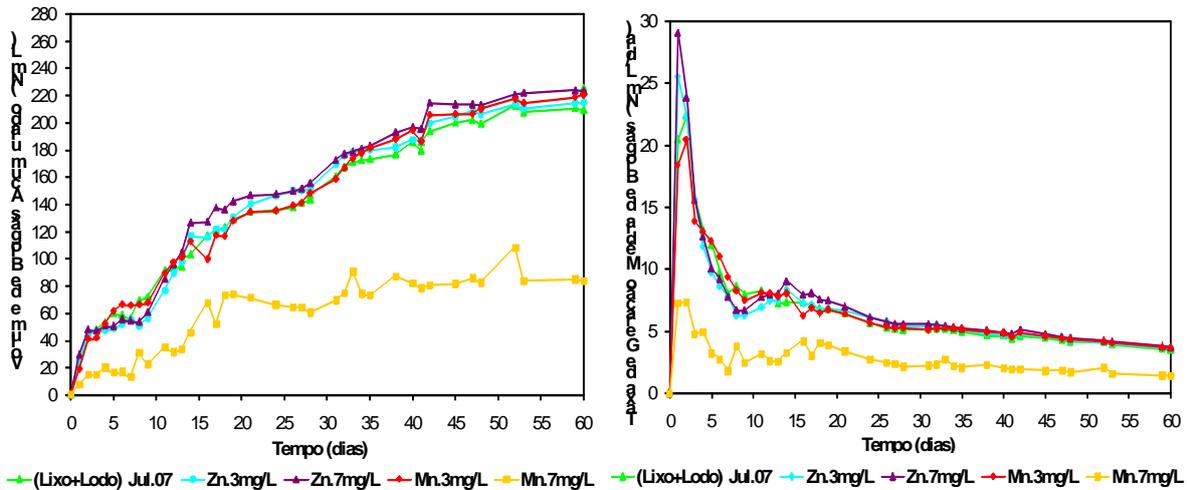


Figura 3. Comportamento da geração de biogás nas amostras contendo Zn e Mn em diferentes concentrações.

Tabela 4 Valores da produção de biogás para as amostras de contendo Zn e Mn em diferentes concentrações.

Amostra	Produção de Biogás					
	Vol.máx. acumulado (NmL)	Tx. de Geração Máxima (NmL/dia)	Vol. Máx. acumulado s/ lodo (NmL)	NmL/g	NmL/gSV	NmL/gMS
(Lixo+Lodo) Jul.07	225,9	22,3	124,5	49,8	101,2	124,5
Zn.3mg/L	231,0	25,5	129,6	51,8	105,4	129,6
Zn.7mg/L	238,0	29,0	136,6	54,6	111,0	136,6
Mn.3mg/L	232,7	20,4	131,3	52,5	106,7	131,3
Mn.7mg/L	94,5	7,3	- 6,8 *	- 2,7 *	- 5,5*	-6,8

NmL/g= NmL Biogás/g Resíduos; NmL/gSV = NmL Biogás/g Sólidos Voláteis

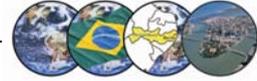
* A geração de biogás do lodo foi superior ao da amostra Mn.7mg/L.

Observa-se, portanto, uma possível inibição da biodegradação na amostra Mn.7mg/L, ao longo dos 60 dias de monitoramento. Isto porque, segundo a literatura, interferências potenciais podem ocorrer durante o ensaio BMP quando altas concentrações de certos compostos estão presentes na amostra em teste. Isto pode estar ligado à inibição das arqueias metanogênicas ou estimulação de outras vias de decomposição anaeróbia tais como redução de sulfato ou nitrato (HARRIES *et al.*, 2001a).

Nos estudos realizados por Chen *et al.* (1995), onde foi observada a influência de diferentes variáveis sobre a geração de biogás durante a realização do ensaio BMP, curvas de geração semelhantes foram obtidas. Sendo assim, em relação à amostra do ensaio com metais Zn e Mn e de acordo com os autores, as curvas obtidas para a maioria das amostras podem indicar que cerca de 50% do rendimento total de biogás foi produzido aproximadamente de 10 a 12 dias após o término do período de inibição.

Os valores do potencial de geração de biogás das amostras de Zn e da amostra Mn.3mg/L não foram considerados baixos, uma vez que ficaram na mesma faixa da amostra padrão (Lixo+Lodo.Jul07). Sendo assim, pode-se sugerir que não houve influência significativa das diferentes concentrações do metal Zn e que houve influência do metal Mn em maior concentração (7mg/L). Nesse experimento, o Zn não se mostrou inibidor da geração de biogás, o que pode ter ocorrido devido sua atuação como elemento químico essencial, participando dos processos metabólicos de muitos microrganismos (Enciclopédia digital, 2008. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Zinco>>).

Alguns conceitos sobre a capacidade de acumular metais pelos microrganismos têm levado ao desenvolvimento de novas tecnologias para remoção e/ou recuperação de metais. Malik (2004), além de



realizar um levantamento dos microrganismos capazes de acumular metais, também apresentou uma listagem dos principais processos e regiões celulares utilizados pelos microrganismos durante o processo de bioacumulação. Diversos gêneros bacterianos isolados de efluentes industriais mostraram resistência a diferentes metais, entre eles o Zn, dependendo de fatores tais como pH, temperatura de incubação e concentração do referido metal. *Aspergillus* spp. isolados de resíduos industriais foram relatados mostrando captação de Zn pelo crescimento celular em meio de cultura composto contendo açúcar e metal, apresentando remoção completa do Zn de efluentes industriais (STOLL & DUNCAN, 1996; SHARMA *et al.*, 2003).

Outros trabalhos que também retratam sobre bioacumulação/biossorção de metais, enfatizam a importância do processo para a biotecnologia e sua aplicação na solução de problemas ambientais. Gomes e colaboradores (1998), também realizaram um levantamento acerca da afinidade dos microrganismos com os metais, analisando sua capacidade de acumulação. Alguns gêneros microbianos tais como *Bacillus*, *Penicillium* e *Aspergillus* foram analisados e apresentaram maior afinidade ou capacidade de acumulação ao Zn do que ao Mn. Em outros estudos, microrganismos isolados de sistemas de tratamento biológico de efluentes industriais foram capazes de remover 97,2% de Zn e 86,3% de Mn. Por biolixiviação, bactérias do gênero *Thiobacillus* foram capazes de solubilizar de sedimentos contaminados 96 a 98% de Zn e 62 a 68 % de Mn, o que caracteriza mais uma vez maior afinidade pelo metal Zn, quando comparado ao Mn. (ZALUSKI *et al.*, 2001; CHEN & LIN, 2001; CHEN & LIN, 2004).

É importante salientar que os microrganismos relatados também participam das etapas de biodegradação dos resíduos sólidos, compondo a microbiota dos aterros sanitários, e têm diferentes capacidades acumulativas. Há, no entanto, um limite de tolerância no que diz respeito às concentrações dos metais levados em consideração, uma vez que, conforme Jordão & Pessoa (1995), em concentrações elevadas os metais também podem inibir a biodegradação e o tratamento biológico, contaminando o solo de áreas de aterros por lixiviação.

O ensaio BMP desenvolvido para testar a influência do metal Fe foi realizado com a amostra de lixo denominada Lixo.Nov.07. De maneira geral, analisando a Figura 4, observa-se que as três concentrações testadas (2, 7 e 20 mg/L) apresentaram trajetória semelhante à gerada pela amostra padrão (Lixo+Lodo)Nov.07, não influenciando de forma significativa o comportamento geral da geração de biogás. As taxas de geração máxima estão apresentadas na Tabela 5. Ao verificar os valores do potencial de geração de biogás nota-se que a amostra Fe.20mg/L obteve o menor índice, 92,6 NmL/gSV, ao contrário das demais amostras, que atingiram valores na faixa de 100 a 104 NmL/gSV.

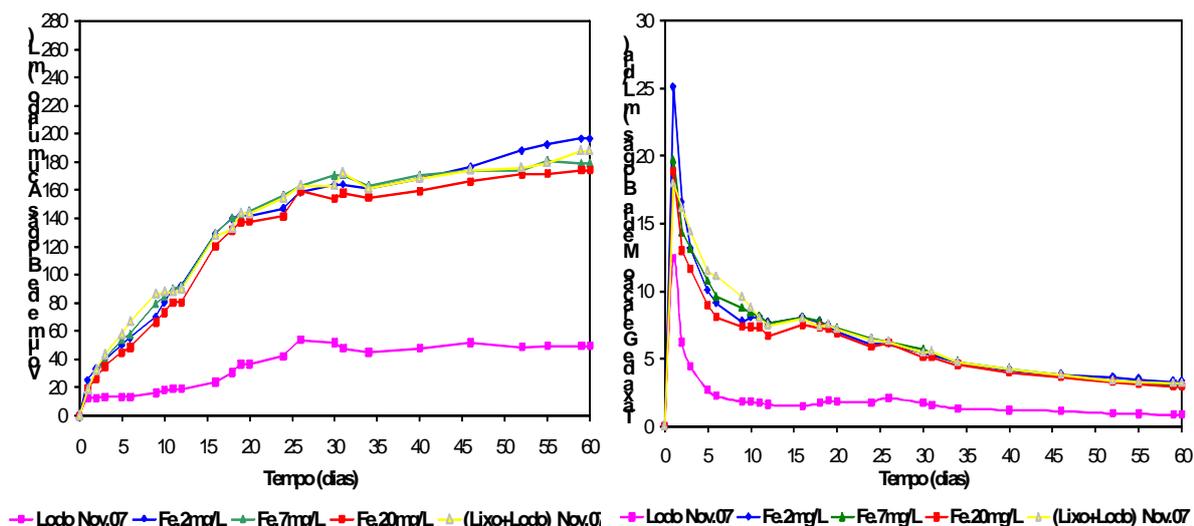


Figura 4. Comportamento da geração de biogás nas amostras contendo Fe em diferentes concentrações.

**Tabela 5. Valores da produção de biogás para as amostras contendo Fe em diferentes concentrações.**

Amostra	Produção de Biogás					
	Vol.máx. acumulado (NmL)	Tx. de Geração Máxima (NmL/dia)	Vol. Máx. acumulado s/ lodo (NmL)	NmL/g	NmL/gSV	NmL/gMS
Lodo Nov.07	53,5	12,4	----	----	----	----
(Lixo+Lodo) Nov.07	202,1	17,9	148,5	59,4	104,6	136,3
Fe 2mg/L	201,2	25,1	147,6	59,0	104,0	135,5
Fe 7mg/L	196,7	19,7	143,2	57,2	100,8	131,3
Fe 20mg/L	185,1	18,8	131,6	52,6	92,6	120,7

NmL/g= NmL Biogás/g Resíduos; NmL/gSV = NmL Biogás/g Sólidos Voláteis.

Uma possível baixa inibição do metal Fe nas concentrações de 2 e 7 mg/L pode ser explicada pela atuação do referido metal, de maneira particular, sobre reações bioquímicas dos microrganismos, atuando muitas vezes como estimulador do processo. Um exemplo é que alguns microrganismos, tais como bactérias metanotróficas, que usam o metano (CH₄) como fonte de energia e de carbono, utilizam proteínas onde os átomos de ferro se enlaçam entre si através de pontes de oxigênio, chamadas monooxigenases, para catalisar a oxidação do metano (Enciclopédia digital, 2008. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/ferro>>).

A baixa inibição do Fe indicada no ensaio realizado também pode ser justificada pela sua presença natural em solos. É o metal de transição mais abundante da crosta terrestre, e o quarto entre todos os elementos (BRAGA *et al.*, 2002; BELTRÃO *et al.*, 2005). Segundo Souto & Povinelli (2007) grande parte do ferro presente nos lixiviados de aterros é oriunda provavelmente da argila usada na cobertura das células.

Aliado a isso, um estudo realizado no Aterro da Muribeca-PE constatou que a presença de Fe em concentrações maiores no lixiviado reforça a hipótese de lixiviação do solo de cobertura das células, ocasionada pela infiltração de água da chuva. Segundo os autores, o estabelecimento do mecanismo de transporte de metais em solos naturais não é apenas determinado pela condutividade hidráulica, mas também pela presença de microrganismos e de substâncias orgânicas capazes de reter metais pesados (OLIVEIRA & JUCÁ, 1994).

Em outra pesquisa, que teve como objetivo analisar os principais efeitos de diferentes elementos sobre o percentual de inibição da atividade metanogênica específica (AME), observou-se o sódio, cromo, fenol e sulfato como os principais atuantes. Os efeitos negativos de outros elementos, entre eles o Fe, analisados separadamente e em interações, não foram considerados significativos (ALVES *et al.*, 1995).

A literatura também relata que microrganismos isolados de sistemas de tratamento biológico de efluentes industriais foram capazes de remover 99% de Ferro em estudos realizados em laboratório. Sendo assim, é reforçada a possibilidade de afinidade desse metal com os microrganismos, mesmo em concentrações maiores (ZALUSKI *et al.*, 2001).

Dessa forma, o estudo realizado possibilita maior compreensão da ocorrência da interação “microrganismos-metals pesados” em ecossistemas complexos, como é o caso de aterros de resíduos sólidos, exercendo papel importante no entendimento do processo degradativo dos resíduos e, conseqüentemente, na geração de biogás.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O ensaio BMP se apresentou como uma excelente ferramenta experimental para determinação do potencial de geração de biogás de RSU, através da utilização de medições reais dos gases gerados e da obtenção de curvas de geração de biogás que indiquem características específicas dos resíduos sólidos de um aterro em questão.



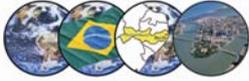
De maneira geral, a pesquisa realizada nos diferentes ensaios (metais pesados, lixos de diferentes idades e biorreatores com diferentes umidades) mostrou a influência dessas variáveis sobre o potencial de geração de biogás dos resíduos da Muribeca-PE, através do aumento ou da diminuição de biogás gerado nas amostras analisadas.

Em relação ao desempenho dos metais pesados sobre a geração de biogás, foi verificado que o Zn não mostrou influência significativa nas duas concentrações estudadas (3 e 7mg/L), em contrapartida, houve influência negativa mais expressiva dos metais Mn e Fe nas maiores concentrações analisadas (7 e 20 mg/L, respectivamente).

Nessa pesquisa, os metais Fe (em concentrações inferiores a 20mg/L) e Zn não atuaram negativamente na biodegradação e, conseqüentemente, na geração de biogás, haja vista suas participações como elementos químicos essenciais aos microrganismos e constituintes enzimáticos de processos anaeróbios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, L.C.; CAMMAROTA, M.C.; FRANÇA, F.P. (1995). Inibição de lodo biológico anaeróbio por constituintes de efluente de laboratório de controle de poluição. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.10, n. 3. p. 236-242.
2. ALVES, I.R.F.S. (2008). Análise Experimental do Potencial de Geração de Biogás em Resíduos Sólidos Urbanos. Dissertação de Mestrado. Centro de Tecnologia e Geociências. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE.
3. BELTRÃO, K.G.Q.B.; ALVES, M.C.M.; JUCA, J.F.T.; FIRMO, A.L.B; BRITO, A.R. (2005). Estudo da sorção de metais do chorume da Muribeca em compósitos de solo caulinitico e carvão de coco. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, MS.
4. BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. (1999). Conceitos básicos de resíduos sólidos. São Carlos: EESC/ Universidade de São Paulo. 120p.
5. BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; BARROS, M.T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. (2002). Introdução à Engenharia Ambiental. São Paulo: Prentice Hall. 305p.
6. CHEN, H.; ECKE, H.; KYLEFORS, K.; BERGMAN A.; LAGERKVIST, A. (1995). Biochemical Methane Potential assays of solid waste samples. In: *Proceedings Sardinia, Fifth International Landfill Symposium*. Cagliari, Italy. Cagliari: CISA. v.1. p. 615-627.
7. CHEN S.Y.; LIN, J.G. (2001). Effect of substrate concentration on bioleaching of metal-contaminated sediment. *Journal of Hazardous Materials*, v.82, p.77-89.
8. CHEN S.Y.; LIN, J.G. (2004). Bioleaching of heavy metals from contaminated sediment by indigenous sulfur-oxidizing bacteria in an air-lift bioreactor: effects of sulfur concentration. *Water Research*, v. 38, p. 3205-3214.
9. CHEN, Y.; CHENG, J.; CREAMER, K.S. (2008). Inhibition of anerobic digestion process: A Review. *Bioresource Technology*, v. 99, p. 4044-4064.
10. Enciclopédia digital, 2008. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Zinco>> Acesso em 28/01/07).
11. Enciclopédia digital, 2008. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/ferro>> Acesso em 28/01/07).
12. GOMES, C.M.; MENDONÇA-HAGLER, L.C.S.; SAVVAIDIS, I. (1998). Biorremediação de metais por microrganismos. *Revista de Microbiologia*, v. 29, p. 85-92.
13. HARRIES C.R.; CROSS C.J.; SMITH R. (2001). 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, Italy. Cagliari: CISA. v. 1, p. 579-588.
14. JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. (1995). Tratamento de Esgotos Domésticos. 3 ed. Rio de Janeiro: ABES. 683 p.
15. LEHNINGER, A.L. (1991). Princípios de Bioquímica. São Paulo: Editora Sarvier. 725p.
16. MANAHAN, S. E. (2005). Environmental Chemistry. 8 ed. Boca Raton: CRC Press. 783p.
17. MALIK, A. (2004). Metal Bioremediation through growing cells. *Environment International*, v. 30, p.261-278.
18. MELO, M.C.; MONTEIRO, V.E.D.; NEVES, M.L.; ARAÚJO, J.M.; JUCÁ, J.F.T. (2002). Estudos de toxicidade em aterros de resíduos sólidos urbanos. *Biotechnology, Ciência e Desenvolvimento*, n. 28, p.48-52.



19. MELO, M.C. (2003). Uma análise de recalques associada à biodegradação no aterro de resíduos sólidos da Muribeca. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife - PE. 160p.
20. MONTEIRO, J.H.P. (2001). Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: IBAM. 200 p.
21. OLIVEIRA, F.J.S. & JUCÁ, J.F.T. (1994). Impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula de um aterro de resíduos sólidos. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 9, n. 3, p.211-217.
22. SCHUELER, A. S. (2005). Estudo de caso e proposta para classificação de áreas degradadas por disposição de resíduos sólidos urbanos. Tese de Doutorado - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ. 223 p.
23. SHARMA, S.; DASTIDAR, M.G.; SREEKRISHNAN, T.R. (2003). Biological removal of zinc from wastewater using *Aspergillus* spp. *European Journal Miner Process Environment Protect*, v. 3, n. 1, p. 1-4.
24. SOUTO, G.D.B.; POVINELLI, J. (2007). Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil. In.: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, MG.
25. STOLL, A.; DUNCAN, J.R. (1996). Enhanced heavy metal removal from wastewater by viable, glucose pretreated *Saccharomyces cerevisiae* cells. *Biotechnology Letters*, v. 18, n. 10, p.1209-12.
26. TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEIN, H., VIGIL, S. (1993). *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. New York :Mcgraw-Hill. 975p.
27. ZALUSKI, M.H.; JOHN, M.T.; CANTY, M.C.; BAKER, M.A. (2001). Field performance of engineered SRB reactors for removing heavy metals. In.: *International Containment and Remediation Technology Conference and Exhibition*. Orlando, Flórida.
28. ZAYED, G.; WINTER, J. (2000). Inhibition of methane production from whey by heavy metals-protective effect of sulfide. *Applied Microbiology Biotechnology*, v. 53, p. 726-731.