

III-209 – AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE METANOGÊNICA ESPECÍFICA (AME) EM REATOR ANAERÓBIO EM BATELADA COM BIOAUMENTO PARA O TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Maria Carolina Vieira da Rocha

Bióloga pela Universidade Positivo (UP), Paraná, Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Doutoranda em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, UFPR, Brasil.

Miguel Mansur Aisse

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo - USP, Professor Associado do Departamento de Hidráulica e Saneamento da UFPR

Sérgio Michelotto Braga

Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental / UFPR, Doutorando em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental / UFPR, Professor Assistente do Departamento de Hidráulica e Saneamento da UFPR.

Maria Cristina Borba Braga⁽¹⁾

Doutora em Tecnologia Ambiental pelo Imperial College of Science, Technology and medicine da Universidade de Londres, Professor Adjunto do Departamento de Hidráulica e Saneamento da UFPR.

Endereço⁽¹⁾: UFPR – Centro Politécnico - Jardim das Américas, Setor de Tecnologia, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Cx. P. 19011 Tel: (41) 3361-3605 e-mail: crisbraga@ufpr.br

RESUMO

A Atividade Metanogênica Específica (AME) é um método que permite avaliar a atividade microbiana por meio da produção de biogás, ou metano, por microrganismos durante o processo da digestão anaeróbia. Este trabalho teve como objetivo avaliar a produção de metano em dois reatores em batelada, para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário, utilizando o teste da AME por medição volumétrica direta. Os reatores foram inoculados com lodo de esgoto (biomassa autoimobilizada) e, a seguir, foi realizado bioaumento no reator denominado Teste, ou RT, adicionando-se microrganismos anaeróbios cultivados a partir do lixiviado de aterro sanitário. O reator sem bioaumento foi denominado reator Controle, ou RC. Em ambos os reatores a alimentação com lixiviado de aterro sanitário foi realizada em fluxo ascendente e o tempo de ciclo foi de 24 horas. O teste da AME foi realizado em amostras de lodo coletadas no 5º, 20º e 40º dias de operação dos reatores. No 20º dia foram observadas duas etapas de produção de metano, separadas por um período de estabilidade na produção, que podem estar vinculadas às duas fases distintas de crescimento dos microrganismos metanogênicos, acetoclástica e hidrogenotrófica. Os resultados dos ensaios da AME das amostras de lodo não apresentaram diferença significativa entre os reatores ($p=0,513$), entretanto, houve aumento da AME ao longo dos 40 dias analisados, para ambos os reatores, indicando a crescente maturação dos biofilmes durante o período monitorado.

PALAVRAS-CHAVE: Atividade metanogênica específica, AME, bioaumento, lixiviado de aterro sanitário.

INTRODUÇÃO

O lixiviado originado em aterros sanitários apresenta cor escura e odor forte e sua geração ocorre devido à lixiviação das substâncias presentes na massa de resíduos, resultado dos processos químicos e bioquímicos que ocorrem durante a degradação da matéria orgânica (CHRISTENSEN e KJELDSEN, 1989). O tratamento do lixiviado de aterro sanitário pode ser realizado em reatores anaeróbios em batelada, desde que sejam acompanhadas as fases biológicas de degradação e as possíveis etapas limitantes do processo (RENOU *et al.*, 2008).

No consórcio microbiano formado durante o tratamento de águas residuárias, a atividade dos microrganismos metanogênicos pode ser identificada como agente limitante aos processos anaeróbios (INCE *et al.*, 1995). A determinação da capacidade máxima de produção de metano por um consórcio de microrganismos

metanogênicos é definida como Atividade Metanogênica Específica (AME) (AQUINO *et al.*, 2007) e é importante para avaliar a eficiência da digestão anaeróbia em processos de tratamento de águas residuárias.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a AME de amostras coletadas em dois reatores em batelada, para tratamento de lixiviado de aterro sanitário, com biomassa autoimobilizada na forma de lodo anaeróbio, sendo que em um deles foi realizado bioaumento. A metodologia da AME escolhida foi aquela de medição direta de metano. Este procedimento é um método volumétrico em que o gás carbônico da composição do biogás é lavado em uma solução de hidróxido de sódio a 25 %, restando apenas o gás metano para quantificação (AQUINO *et al.*, 2007).

MATERIAL E MÉTODOS

CULTIVO DOS MICRORGANISMOS

Os microrganismos presentes no lixiviado de aterro sanitário foram cultivados utilizando-se meio contendo 20 mL de lixiviado de aterro sanitário bruto e agar, como agente solidificante. O meio foi autoclavado a 120 °C, por 15 minutos e, a seguir, foi semeado 1 mL de lixiviado sobre as placas, em câmara anaeróbia para análises microbiológicas. Após a semeadura as placas com os meios receberam, cada uma, um disco de 30 ug do antibiótico cloranfenicol. Os meios cultivados foram mantidos em câmara anaeróbia, sob temperatura ambiente, por 20 dias. A condição anaeróbia foi obtida pela injeção de uma mistura de gases nitrogênio e carbônico, na proporção 4:1.

REATORES ANAERÓBIOS OPERADOS EM BATELADAS SEQUENCIAIS

Para avaliar a digestão anaeróbia do lixiviado de aterro sanitário, com e sem inóculo microbiano, foram construídos dois reatores em batelada, com biomassa autoimobilizada na forma de lodo anaeróbio e alimentação em fluxo ascendente.

O sistema era composto por dois cones de Imhoff, com capacidade para 1 L cada. Uma abertura de 1 cm de diâmetro, na parte inferior de cada reator, era conectada a uma mangueira de látex, que, na sua extremidade, estava acoplada a um funil de 10 cm de diâmetro (Figura 1a). O procedimento para alimentação dos reatores é apresentado na Figura 1b.

A parte superior dos reatores foi vedada com uma placa de PVC, mantendo-se, entretanto, uma abertura na placa para o descarte do efluente. Para evitar a entrada de ar no sistema, esta abertura foi fechada por um *cap* removível, com diâmetro de 3,2 cm (Figura 1c). A liberação do gás produzido foi realizada por meio de um tubo em “L” conectado ao *cap*.

A evolução da biomassa anaeróbia foi acompanhada por meio de retiradas periódicas de lodo anaeróbio, utilizando-se saídas laterais nos reatores (Figura 1d), que eram mantidas fechadas por pinças de Mohr.

ATIVIDADE METANOGÊNICA ESPECÍFICA

Para os ensaios da AME foi construído um sistema de medição direta do volume de metano produzido (Figura 2a e 2b). Este sistema era composto por um frasco reator (R), que recebeu o inóculo de biomassa (lodo), a solução de nutrientes (Tabela 1) e uma solução concentrada de ácidos graxos voláteis (AGV), contendo: 1,9 mL de ácido acético concentrado, 0,5 mL de ácido propiônico concentrado e 0,52 mL de ácido butírico concentrado.

Cada frasco reator foi conectado a uma câmara de segurança ou *trap* (T) cuja função era evitar o refluxo da solução presente no frasco de Mariotte (M). Este frasco (M) encontrava-se ligado ao *trap* e apresentava um volume equivalente de 250 mL de solução alcalina (NaOH 25 g/L) capaz de reter o dióxido de carbono formado no processo. Desta forma, apenas o metano produzido passava para o espaço vazio acima do frasco e era o responsável pelo deslocamento da solução alcalina. O sistema completo da AME foi mantido sob temperatura constante de 32°C, em caixa térmica.



Figura 1: Reatores em batelada: a) visão geral, b) funil de alimentação, c) *cap* e tubo em “L”, d) saída do lodo

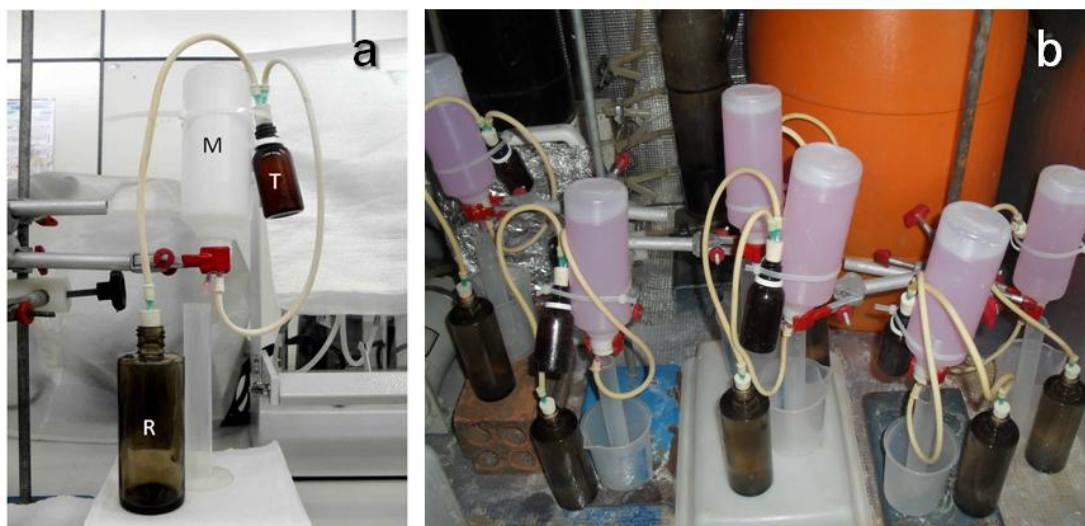


Figura 2: (a) Reator de Atividade Metanogênica Específica: R- frasco de biomassa; M- frasco de solução NaOH; T - câmara de segurança, (b) Reatores AME durante ensaio

Tabela 1: Composição da solução de nutrientes utilizada durante o teste da AME

Nutriente	Concentração (mg. L ⁻¹)	Finalidade
NaHCO ₃	1000	Solução tampão
KH ₂ PO ₄	650	Solução tampão e macronutriente
K ₂ HPO ₄	150	Solução tampão e macronutriente
NH ₄ Cl	500	Macronutriente
MgCl ₂	100	Macronutriente
CaCl ₂ .2H ₂ O	100	Macronutriente
Extrato de levedura	50	Fonte de vitaminas

Fonte: Chernicharo (2007)

O volume de lodo adicionado no frasco de biomassa foi calculado com base nos resultados de sólidos totais voláteis (STV) obtidos para este lodo. O valor utilizado nesta pesquisa forneceu a concentração final da biomassa no frasco reator (R) de 2,5 g STV/L (CHERNICHARO, 2007; AQUINO *et al.*, 2007; MEYER *et al.*, 2008).

O volume deslocado de solução alcalina do frasco M indica a produção cumulativa de metano ao longo do tempo. Graficamente, correlacionando tempo *versus* produção cumulativa de metano é possível obter uma curva, cuja inclinação do trecho reto fornece a taxa de produção de metano (ex: mLCH₄/h). Para o cálculo da AME (em gDQO_{CH4}/gSTV.d) utilizou-se a Equação 1 (AQUINO *et al.*, 2007):

$$AME = \frac{R \times 24}{38,5 \times STV} \quad (1)$$

Em que:

AME= atividade metanogênica específica (gDQO_{CH4}/ gSTV.d)

R= taxa de produção de metano (mLCH₄ h⁻¹)

24= fator de conversão (horas para dias)

38,5= fator de conversão (mLCH₄ para gDQO)

Para análise estatística dos resultados da AME foi aplicado o teste U de Mann-Whitney, com um intervalo de confiança de 95 %; tendo sido utilizado o software SPSS®, versão 13.0 (SPSS INC., 2004).

RESULTADOS

Nas Figuras 3a a 3f-f são apresentados os gráficos do volume acumulado de metano *versus* tempo para os ensaios realizados.

O perfil de produção de metano foi muito similar, em ambos os reatores, entre os ensaios de um mesmo período. Os resultados, para cada ensaio, apresentaram consistência nas respostas, com base nas repetições realizadas.

Para os ensaios realizados com o lodo coletado após 20 dias de operação dos reatores foram observadas duas etapas de produção de metano, separadas por um período de estabilidade na produção (Figuras 3c e 3d). Estas

duas etapas de produção podem estar vinculadas a duas fases distintas de crescimento dos microrganismos metanogênicos.

A etapa de produção inicial de metano, utilizando-se o lodo de 20 dias, foi devida ao consumo imediato dos ácidos orgânicos voláteis adicionados ao frasco reator dos sistemas. Esta etapa pode ser caracterizada pelo crescimento dos microrganismos acetoclásticos. Após a depleção destes compostos no sistema, ocorreu um período de estabilidade, que pode ser interpretado como um período de produção de acetato e hidrogênio pelos microrganismos acetogênicos presentes na biomassa inicialmente inoculada. De acordo com Lettinga *et al.* (1996) e Chernicharo (2007), esta provável acetogênese é favorecida em condições de baixas concentrações de acetato no meio.

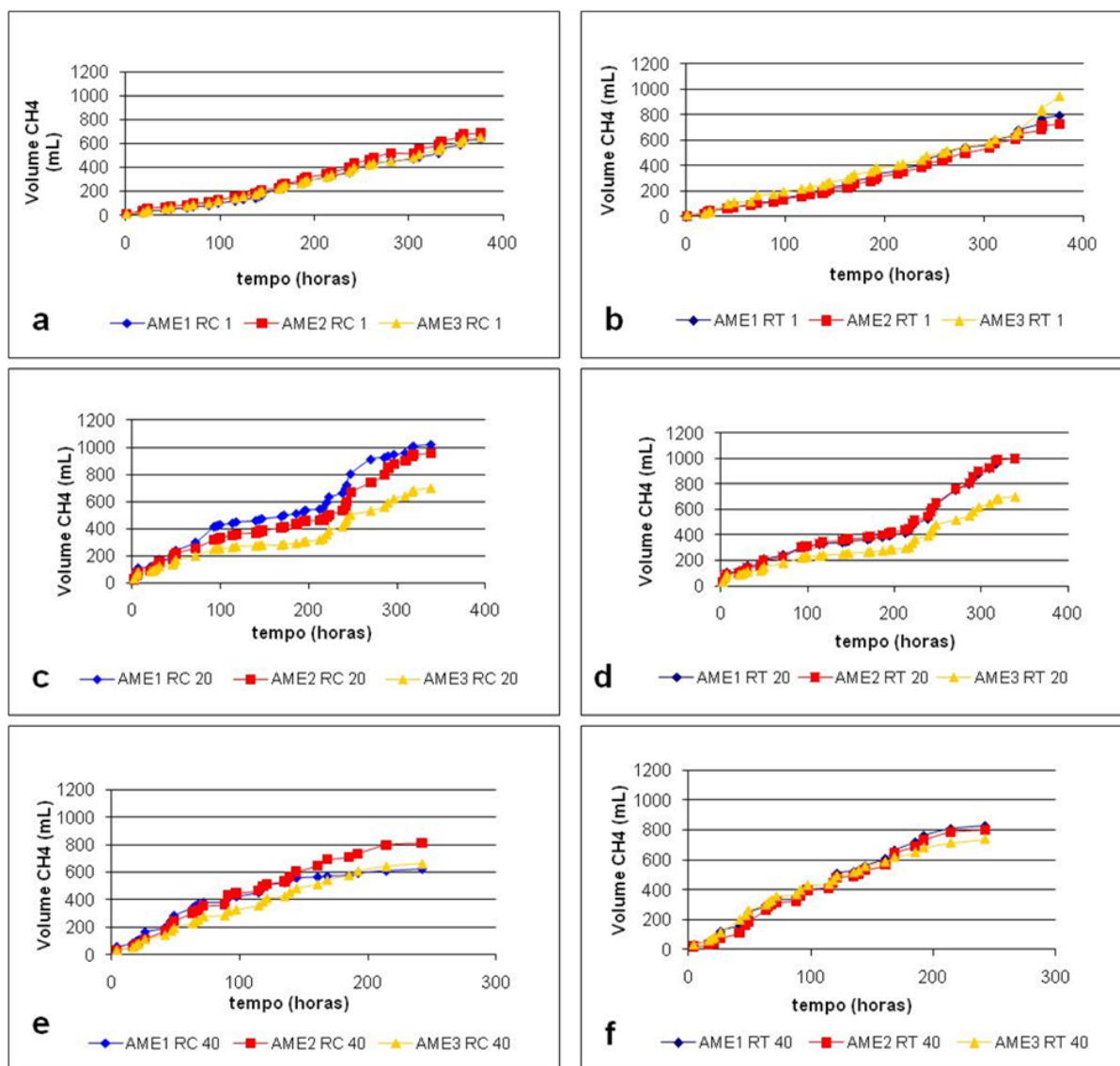


Figura 3: Volume cumulativo de metano versus tempo: a) RC, lodo do 1º dia de operação; b) RT, lodo do 1º dia de operação; c) RC, lodo do 20º dia de operação; d) RT, lodo do 20º dia de operação; e) RC, lodo do 40º dia de operação; f) RT, lodo do 40º dia de operação

Após a produção de acetato e hidrogênio nos reatores de AME, teve início a segunda fase de crescimento metanogênico. Nela, os microrganismos acetoclásticos e, agora também, os hidrogenotróficos, induziram a produção de metano, que apresentou taxa de produção mais elevada do que aquela observada na primeira etapa. Isto porque houve o favorecimento do crescimento das populações hidrogenotróficas, até então latentes na biomassa inicialmente inoculada.

Os valores obtidos para a atividade metanogênica específica durante os ensaios realizados ($\text{mg DQO}_{\text{CH}_4} / \text{g STV.d}$) são apresentados na Tabela 2. Para os ensaios com lodo coletado após 20 dias foi calculada a média entre as duas etapas de produção de metano observadas.

Os resultados obtidos permitem afirmar que não houve diferença significativa na produção de metano pela biomassa dos reatores RC e RT nos períodos considerados (teste U de Mann-Whitney, $p = 0,513$). Entretanto, o aumento da AME ao longo dos 40 dias de operação dos reatores pode ter representado a adaptação gradual dos microrganismos metanogênicos ao lixiviado de aterro sanitário e, conseqüentemente, a maturação e estabilidade dos biofilmes.

Tabela 2 – Atividade Metanogênica Específica ($\text{mg DQO}_{\text{CH}_4}/\text{g STV.d}$) para lodo dos reatores Controle (RC) e Teste (RT)

DIAS	AME*	
	RC	RT
1	0.38 (0.01)	0.54 (0.07)
20	0.82 (0.28)	0.85 (0.27)
40	1.11 (0.21)	1.22 (0,04)

* valores em $\text{mg DQO} / \text{g STV.d}$

CONCLUSÕES

A atividade metanogênica específica (AME) não apresentou diferença significativa entre os reatores, entretanto, ao longo de 40 dias, ambos os reatores apresentaram aumento na produção de metano indicando a maturação e adaptação dos biofilmes ao lixiviado de aterro sanitário. Outra consideração importante sobre este ensaio diz respeito à produção de metano após 20 dias de operação dos reatores. As diferentes fases de crescimento dos metanogênicos que foram observadas neste ensaio podem, futuramente, ser estudadas em relação à influência da variação de carga, ou presença de compostos tóxicos sobre a atividade metanogênica de acetoclásticos e hidrogenotróficos, separadamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L.; FORESTI, E.; FLORÊNCIO L.; MONTEGGIA, L.O. Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 12, n. 2, p. 192-201, 2007.
2. CHERNICHARO, C. A. L. Reatores Anaeróbios. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 5, 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007
3. CHRISTENSEN, T.H.; KJELDSSEN, P. Basic biochemical processes in landfills. In: _____. *Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact*. London: Academic Press, 1989.
4. INCE, O., ANDERSEN, J. K., KASAPGIL, B. Control of organic loading rate using the specific methanogenic activity test during start-up of an anaerobic digestion system. *Water Research*, v. 29, n. 1, p. 349-355, 1995.
5. LETTINGA, G., HULSHOF POL, L. W. and ZEEMAN, G. Biological Wastewater Treatment. Part I: Anaerobic wastewater treatment. Lecture Notes. Wageningen Agricultural University, 1996.
6. MEYER, S. A. S.; MELO, T. O.; XAVIER, C. R. Efeito de compostos lógicos de efluentes de celulose Kraft sobre a atividade da biomassa de sistemas de tratamento aeróbico e anaeróbico. In: *Anais XIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná*. Pato Branco, novembro, 2008.
7. SPSS Inc. SPSS® 13.0 Command Syntax Reference. Chicago, 2004.