

# ***Avaliação dos principais parâmetros de operação de um biorreator anaeróbio***

BILLY REINHEIMER<sup>1</sup>

MIGUEL AUGUSTO FINKLER<sup>1</sup>

FLÁVIA BURMEISTER MARTINS<sup>2</sup>

LILIANA AMARAL FÉRIS<sup>3</sup>

ERWIN FRANCISCO TOCHTROP JÚNIOR<sup>3</sup>

## **RESUMO**

*O emprego da tecnologia do biorreator apresenta-se como uma alternativa para o tratamento de resíduos sólidos tendo em vista a maior eficiência dos processos de fermentação quando sob condições controladas. Além disso, estes sistemas são mais adequados quando se propõe o aproveitamento energético do biogás e do biofertilizante, os quais são subprodutos da digestão anaeróbia. Este trabalho descreve o desenvolvimento e a metodologia de operação de um biorreator em escala piloto de laboratório. São ainda apresentados os resultados de um ensaio em batelada com resíduos alimentares.*

**Palavras-chave:** *bioreator anaeróbio, metanogênese, biogás, biodegradação.*

---

<sup>1</sup>Acadêmicos do curso de Engenharia Ambiental/ULBRA – Bolsista PROICT/ULBRA

<sup>2</sup>Professor - Orientador do Curso de Engenharia Ambiental/ULBRA e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia:

Energia, Ambiente e Materiais/ULBRA (flavia.martins@ulbra.br)

<sup>3</sup>Professores do Curso de Engenharia Ambiental/ULBRA e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia: Energia, Ambiente e Materiais/ULBRA

## ABSTRACT

*The use of biodigester technology presents itself as an alternative for solid waste treatment considering the major efficiency of fermentation processes under controlled conditions. Furthermore, these systems are more appropriate when the exploitation of biogas and biofertilizers, by-products of anaerobic digestion, is proposed. This work describes the operation procedures of a bioreactor in laboratory scale. The results of a batch test using food wastes are also presented.*

**Key words:** *anaerobic bioreactor, methanogenesis, biogas, biodegradation.*

## INTRODUÇÃO

O tratamento de resíduos sólidos orgânicos se apresenta como um grande desafio da atualidade. Sistemas de disposição final têm sido em grande escala empregados no Brasil e no mundo em grande parte pela simplicidade operacional. No entanto, um sistema de disposição final do tipo aterro sanitário requer controles e monitoramento adequado mesmo após o fechamento das células. Estes controles incluem sistemas adequados de contenção e drenagem de lixiviados e gases, sistemas de tratamento de lixiviados, sistemas de monitoramento, cobertura e controle operacional. O aterro sanitário constitui-se em um grande bioreator no qual os processos de fermentação ocorrem muito lentamente devido às dificuldades de controle das condições ambientais e da dinâmica operacional, sendo necessários muitos anos para o cessamento da atividade microbiana. Além disso, estes sistemas ocupam grandes extensões de áreas, as quais são cada vez mais escassas nas proximidades urbanas, do que resultam custos elevados associados ao transporte de resíduos.

Há também várias preocupações relacionadas ao potencial de poluição do ar e da água em aterros sanitários. Mesmo quando sistemas de drenagem e extração ativa de gases são implantados em

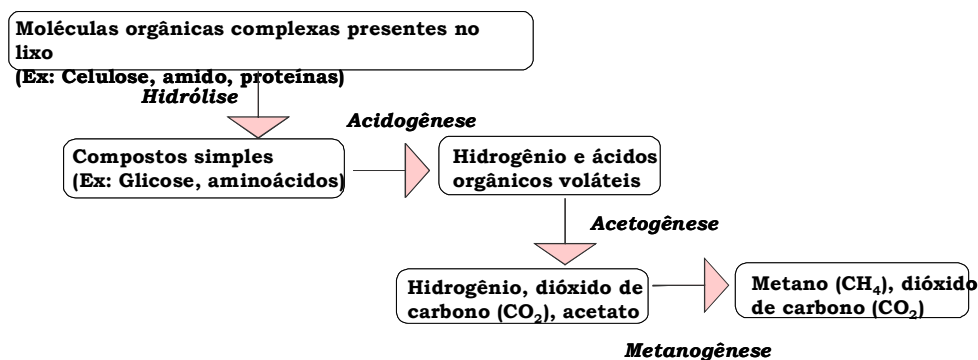
aterros sanitários, uma grande quantidade de fugas resulta na liberação de quantidades significativas do biogás para a atmosfera. Além do risco de explosão, o biogás apresenta odor desagradável devido à presença de gás sulfídrico e, por apresentar aproximadamente 50% de metano, contribui para o efeito estufa devido ao seu alto potencial de aquecimento global (CHUNGH et al., 1999). No que se refere à poluição das águas subterrâneas e superficiais, aterros sanitários apresentam risco de vazamento. A composição química do lixiviado varia grandemente em função da idade do aterro e do tipo de resíduos disposto. No entanto, a previsão desta composição é complicada pelo fato de se tratar de uma mistura de lixiviados de resíduos em diferentes estágios de degradação. Contaminantes tóxicos estão normalmente presentes em lixiviados de aterros sanitários, do que decorre um aumento do risco associado a estes sistemas (CHRISTENSEN et al., 1994).

Bioreatores em batelada constituem-se, por outro lado, em sistemas nos quais as condições ambientais são controladas para promover a degradação acelerada dos resíduos orgânicos. Estes sistemas são concentrados em pequenas áreas e as instalações facilitam grandemente o aproveitamento de subprodutos como o biogás pelo fato deste estar contido em um pequeno volume. Controles operacionais tais como tempera-

tura, pressão e pH são facilmente implementados em bioreatores. Estes sistemas comportam volumes muito inferiores aos volumes de aterros sanitários, mas possibilitam a redução drástica da carga orgânica em aproximadamente 30 dias. Processos de purificação tanto do biogás quanto do biofertilizante são muito facilitados neste tipo de instalação devido aos menores volumes envolvidos e ao fato destes estarem concentrados.

O processo de degradação anaeróbia é composto por quatro fases representadas na Figura 1. Na primeira fase, as bactérias promovem a hidrólise e transformam as moléculas maiores em moléculas menores e solúveis ao meio. Na hidrólise ocorre a transição da fase aeróbia para a anaeróbia, com formação de chorume, estabelecendo condições de oxidação-redução. Na fase seguinte, as bactérias acidogênicas transformam os produtos da hidrólise em ácidos orgânicos,

com conseqüente diminuição do pH. Estas bactérias podem ser tanto aeróbias como anaeróbias, sendo o oxigênio retirado dos compostos que constituem o material orgânico. Na acetogênese, a matéria orgânica é sintetizada por microorganismos produtores de acetato. Na última fase, a metanogênese, ocorre a produção de metano. As bactérias metanogênicas transformam o hidrogênio e o dióxido de carbono em ácido acético, metano e  $\text{CO}_2$ . As bactérias que produzem metano a partir do hidrogênio crescem mais rápido do que as bactérias que usam ácido acético. Assim, as bactérias metanogênicas acetotróficas limitam a velocidade de transformação do material orgânico em biogás. Além do biogás podem ser produzidos também nitrato e sulfato. Em condições anaeróbias, o sulfato é convertido em gás sulfídrico, que é corrosivo e tem odor desagradável, além de ser tóxico ao processo de metanogênese.



**Figura 1** - Fases características de um processo de digestão anaeróbia

Os principais parâmetros de controle do processo de biodigestão anaeróbia são a temperatura e o pH. A temperatura influencia na velocidade do metabolismo das bactérias, no equilíbrio iônico e na solubilidade dos substratos. Para a digestão anaeróbia, os níveis ótimos de tem-

peratura situam-se entre 30 e 37°C. As bactérias anaeróbias são extremamente sensíveis à alcalinidade do meio. As bactérias produtoras de metano sobrevivem numa faixa de pH entre 6,5 e 8,0, enquanto as bactérias das fases hidrolítica e acidogênica produzem ácidos, as

bactérias metanogênicas consomem ácidos mantendo o meio neutro, num processo simbiótico.

Nas fases seguintes, as moléculas são decompostas por microrganismos anaeróbios de diferentes tipos, resultando na fase final, na transformação em  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ .

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Neste trabalho são apresentados resultados de ensaios de biodigestão com resíduos alimentares. Estes ensaios tiveram por objetivo verificar o desenvolvimento do processo anaeróbio neste tipo de resíduo, os controles necessários para manter o processo em atividade e parâmetros de velocidade de degradação e quantidade de gás gerado, bem como sua qualidade. O trabalho teve por objetivo, também, aprimorar os controles operacionais do equipamento (bioreator) e acompanhar a produção de biogás, bem como monitorar a concentração de metano ao longo do experimento.

### **Melhoramentos realizados no equipamento**

Algumas modificações foram implementadas no Biorreator tendo em vista melhorar a operação, permitir a amostragem do gás e garantir maior eficiência do processo. Estas modificações são brevemente descritas a seguir.

### **Automatização da Operação de Recirculação do Chorume**

A operação de recirculação do chorume era realizada através de uma bomba com

acionamento manual. Este procedimento apresentava limitações quanto à frequência de recirculação devido a que durante o período noturno, em feriados e nos finais de semana não era possível a sua realização. Além disso, o tempo de acionamento também era controlado manualmente, não havendo controle preciso da quantidade de líquido recirculado.

Tendo em vista estas limitações, foi implementado um sistema automático de recirculação composto por um temporizador programável para o acionamento da bomba de recirculação. O temporizador utilizado foi da marca COEL, modelo RTST/20.

O tempo de recirculação foi calculado em função da vazão da bomba de forma que 30% do volume do biorreator fosse recirculado por dia. Este tempo foi estimado em 10 minutos de recirculação a cada 4 horas. Este sistema operou adequadamente durante o período de realização dos ensaios.

### **Leito de brita**

Um leito de brita foi colocado depositado na parte inferior do bioreator visando estabelecer um substrato para o desenvolvimento de um biofilme e assim melhorar as condições de acesso da carga orgânica às bactérias.

### **Câmara de acumulação de líquidos**

A amostragem do chorume apresenta como dificuldade o fato de que é necessário reduzir a pressão dentro do biorreator até a pressão atmosférica para completar o volume com água desti-

lada correspondente ao volume retirado pela amostragem. Uma alternativa implementada consistiu em uma câmara de acumulação de líquidos, a qual pode ser isolada do bioreator por um sistema de válvulas, o que permite o reestabelecimento do volume do biodigestor sem perda da pressão no interior do bioreator.

### **Sistema de amostragem de gás**

Para permitir a amostragem do gás, foi desenvolvido um sistema de coleta em série com a tubulação de saída do gás. Este sistema consistiu em um coletor situado na tubulação de descarte do gás. O local escolhido é devido a que pressão no local de amostragem esteja próxima a da ambiente. Este se distancia em no mínimo 1,5 metro da extremidade de saída da tubulação.

### **Processo de biodigestão**

Os resultados apresentados neste artigo correspondem a ensaios com resíduos alimentares. Foram acondicionados dentro do biorreator 25 kg de resíduo sólido proveniente da Central de Abastecimento do Rio Grande do Sul, CEASA; 80 L de lodo anaeróbio advindo do sistema de tratamento de efluentes das indústrias Solae S.A; e água da rede de abastecimento do município de Canoas (RS), perfazendo o restante do volume de 160L.

Uma quantidade de 3g/L de bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) foi adicionada para o tamponamento do sistema na faixa de pH entre 6,8 – 7,2. Esta concentração de 3g/L se mostrou adequada em experimentos anteriores (JOHN, 2004). Neste experimento, no entanto, a mistu-

ra apresentou um pH inicial de 7,67, um tanto alcalino em relação aos demais experimentos, mas ainda aceitável.

O chorume gerado na degradação da matéria orgânica foi recirculado durante dez minutos a cada 4 horas, correspondendo a um volume recirculado diariamente de 30% do volume total da mistura.

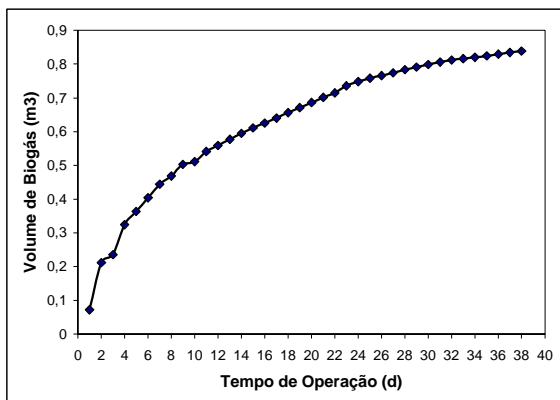
Com o objetivo de acelerar as reações de biodegradação da matéria orgânica, a temperatura do experimento foi mantida constante em 38°C por intermédio de um controlador de temperatura pré-programado. Esta temperatura se mostrou adequada pelos experimentos que se antecederam a este (JOHN, 2004).

A batelada teve início no dia 27 de junho de 2005 e foi encerrada no dia 2 de agosto de 2005, perfazendo 34 dias. A batelada foi encerrada quando cessou a produção de biogás.

Os principais ensaios realizados para monitorar o processo de biodigestão foram: Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, Ácidos Orgânicos Voláteis (AOVs) e ensaios de cromatografia gasosa. Estes ensaios foram realizados de acordo com as recomendações do Standard Methods.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

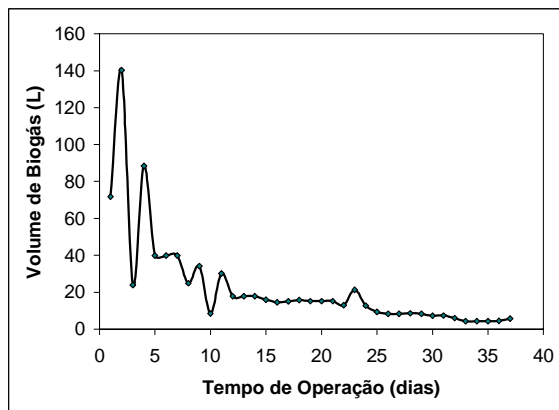
O ensaio de biodigestão aqui apresentado teve uma duração de 39 dias. A Figura 2 apresenta a produção acumulada de gás durante este período. Nesta figura observa-se uma tendência de estabilização do volume total de gás gerado em 0,8m<sup>3</sup>.



**Figura 2** - Volume acumulado de biogás produzido na Batelada 14

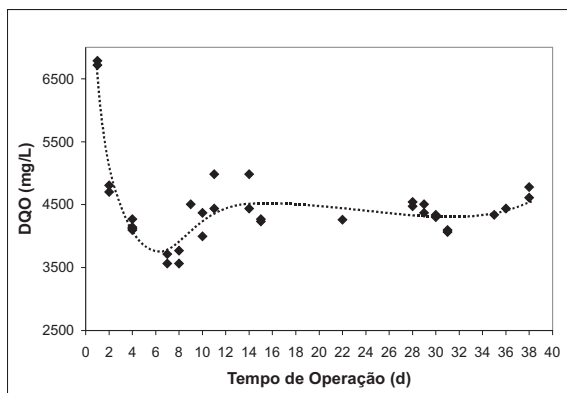
Na Figura 3 é apresentada a produção diária de gás. Nesta figura nota-se um aumento acentuado da produção já nos primeiros dias de operação. No entanto, a partir do 10º dia de operação, a produção de gás cai acentuadamente. Este comportamento indica uma interrupção precoce do processo de digestão anaeróbia. Espera-se que a maior produtividade de biogás seja alcançada em aproximadamente 30 dias, tendo em vista a seqüência de processos indicada na Figura 1. CHUGH et al. (1999) reporta uma série de ensaios em bioreatores anaeróbios cujos resultados apontam um pico de produção de biogás próximo ao 30º dia de ensaio e uma estabilização do processo após 70 dias. Portanto, os resultados apresentados na Figura 2 não são satisfatórios, sendo o volume total de biogás produzido extremamente baixo, da ordem de  $0,032\text{m}^3/\text{kg}$  (volume de biogás / quilo de resíduo alimentar). Taxas superiores a  $0,2\text{ m}^3/\text{kg}$  de matéria orgânica (sólidos voláteis) são reportadas na literatura em processos anaeróbios

(CHRISTENSEN & KJELDTSEN, 1989; CHUGH et al., 1999).



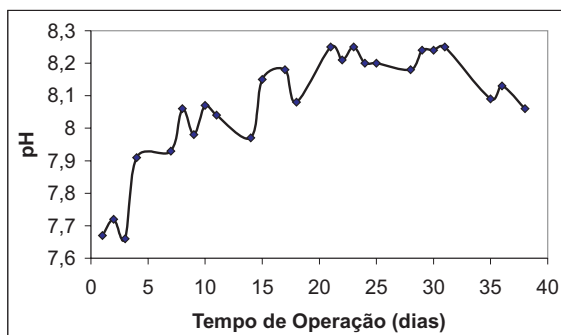
**Figura 3** - Volume diário de gás produzido na Batelada 14

Na Figura 4 são apresentados os valores de DQO obtidos neste ensaio. Nota-se inicialmente uma redução acentuada da DQO até o sexto dia e, a partir do sétimo dia, observa-se uma tendência de estabilização da DQO em valores próximos a  $4500\text{ mg/L}$ , indicando uma quantidade significativa de matéria orgânica a ser degradada. A DQO pode ser associada à quantidade de matéria orgânica e inorgânica a ser oxidada no meio e valores elevados de DQO podem indicar a presença de compostos químicos de difícil degradação biológica. No entanto, resíduos essencialmente orgânicos foram colocados nesta batelada e o lodo utilizado provinha, também, de uma estação de tratamento de resíduos de uma indústria de alimentos. Desta forma, esperava-se que valores residuais de DQO bem inferiores pudessem ser alcançados com a digestão anaeróbia.



**Figura 4 - Demanda Bioquímica de Oxigênio**

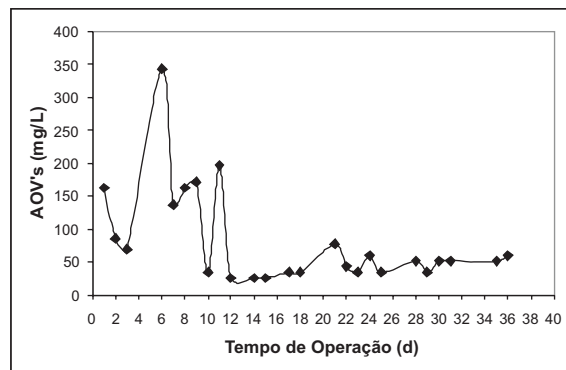
Na Figura 5 são apresentados os resultados de pH. Observa-se que no início do processo, o pH se situa em um valor da ordem de 7,7. Este valor é ligeiramente alto, mas não inibe a atividade microbiana. No entanto, mesmo condicionado pela solução tampão para o valor de 7,2, a partir do 4º dia de ensaio o pH sobe, alcançando um valor superior a 8 antes do 10º dia de operação. Este valor é muito elevado para o desenvolvimento microbiano. Disto resulta, portanto, a interrupção do processo de degradação observada a partir deste ponto.



**Figura 5 - Variação do pH com o tempo de operação**

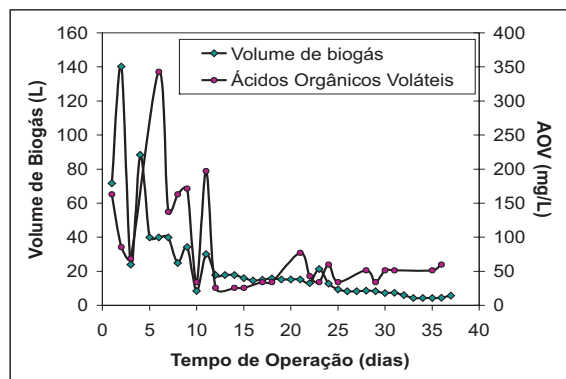
Na Figura 6 são apresentados os valores de Ácidos Orgânicos Voláteis. Este parâmetro indi-

ca a fase do processo de degradação anaeróbia. Também estes resultados indicam a interrupção prematura do processo.



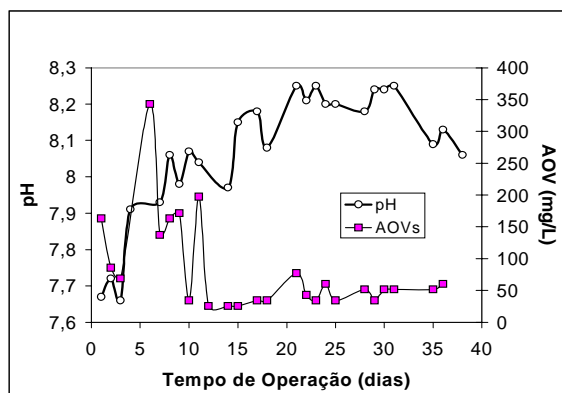
**Figura 6 - Variação do teor de Ácidos Orgânicos Voláteis durante o processo**

Na Figura 7 são plotados simultaneamente os teores de Ácidos Orgânicos Voláteis e o volume de biogás produzido em cada dia de operação do sistema. Observa-se uma grande semelhança entre estas curvas, ambas indicando uma queda significativa de produção nos primeiros dias de ensaio. Esta equivalência atesta a representatividade destes parâmetros no monitoramento do processo, bem como que os procedimentos analíticos utilizados são adequados às análises propostas.



**Figura 7 - Ácidos orgânicos Voláteis e Volume de gás produzido ao longo do processo**

Na Figura 8, uma segunda associação importante é feita entre o pH e AOVs. Nota-se uma redução no teor de AOVs com aumento do pH e que para pH superior a 8, este teor se mantém praticamente constante em aproximadamente 50 mg/L. A correlação com o pH também é válida para o volume de gás produzido diariamente. Observa-se que a produção tende a zero para valores de pH superiores a 8, os quais causam a morte dos microrganismos anaeróbios e a interrupção do processo de digestão anaeróbia.

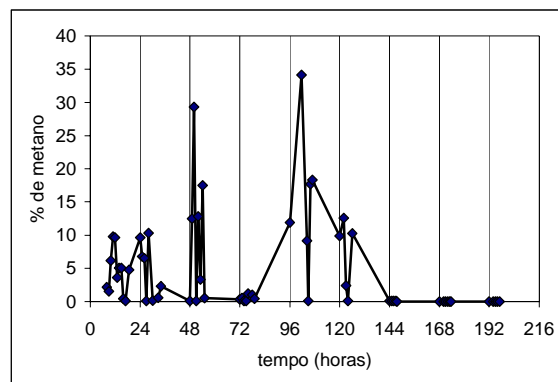


**Figura 8** - Comparação entre os valores de pH e teor de AOVs

Amostras do gás gerado neste processo foram coletadas durante o ensaio e conduzidas ao cromatógrafo gasoso para análise qualitativa e quantitativa do gás, num total de 60 amostras. Estas amostras foram coletadas com seringas plásticas, reservadas e conduzidas ao final de cada dia para a análise no cromatógrafo gasoso. Os resultados são apresentados na Figura 9. Estes valores são muito variados e não permitem estabelecer nenhuma tendência. Ao longo do mesmo dia, obser-

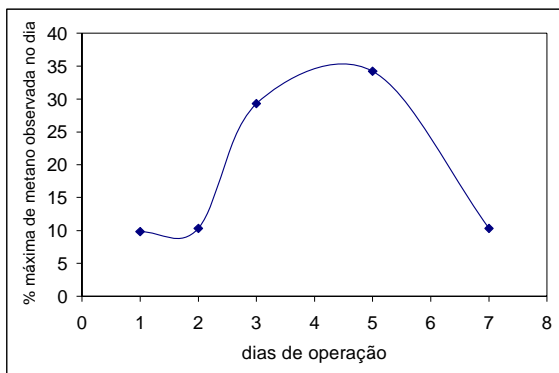
va-se uma variação muito acentuada do teor de gás metano. Estas variações foram atribuídas ao procedimento de amostragem. Para a amostragem, foram utilizadas seringas comuns, as quais eram armazenadas e conduzidas à análise no final de cada dia. As análises não eram realizadas imediatamente, sendo que algumas seringas somente foram analisadas após alguns dias. É provável que processos de difusão decorrentes de gradientes de concentração do metano tenham ocorrido através do orifício da seringa, o qual não foi vedado. Apesar destes erros, é possível observar, no entanto, que a partir do 6º dia de ensaio não foram mais observados quaisquer teores de CH<sub>4</sub> no gás amostrado.

Na Figura 10 são apresentados valores que correspondem ao teor máximo de gás metano observado nos seis primeiros dias de ensaio. Neste gráfico os valores são mais consistentes, mas ainda representam percentuais relativamente baixos. Um teor de 50% de metano deve ser observado na fase metanogênica.



**Figura 9** - Teor de metano observado nas amostras de gás





**Figura 10** - Concentração máxima de metano observada em cada dia de operação

## CONCLUSÕES

Os resultados apresentaram correlações importantes entre os parâmetros pH, AOV e a produção de Biogás. Uma correlação bastante significativa foi observada entre a comparação direta da produção de biogás e o teor de AOVs, indicando que este parâmetro pode ser empregado para estimar a produção de Biogás.

O domínio da técnica de biodigestão é fundamental para a operação do biorreator anaeróbio. Nos resultados apresentados, não foi possível obter o tamponamento em pH neutro, resultando a morte dos microrganismos e a interrupção precoce do processo de biodigestão. Acredita-se que esta dificuldade esteja associada ao tipo de inóculo empregado, o qual não havia sido testado previamente. O cálculo do tamponamento deve ser realizado conforme as condições específicas de cada ensaio com base em análises mais aprofundadas que indiquem, por exemplo, a concentração de carbono no sistema (RITTMANN & MCCARTY, 2001).

A técnica de amostragem de gases empregada resultou na perda por difusão das concentrações de  $CH_4$  para o ambiente e deve ser modificada.

## AGRADECIMENTOS

O grupo de autores agradece à Ulbra pelas bolsas de iniciação científica concedidas ao Projeto “Biorreatores Anaeróbios”. O Projeto Biorreatores em Batelada teve o apoio da Secretaria de Ciência e Tecnologia para a compra do cromatógrafo gasoso e da Universidade de Queensland, Austrália, que cedeu os biodigestores para este trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHRISTENSEN, T.H., KJELDTSEN, P. Basic biochemical processes in landfills. **SANITARY Landfills: process, technology and environmental impact**. London: Academic Press, 1989. p.29-49.
- CHRISTENSEN, T.H. et al. Attenuation of landfill leachate pollutants in aquifers. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v.24, p.119-202, 1994.
- CHUNGH, S. et al. Degradation of unsorted municipal solid waste by a leach-bed process. **Bioresource Technology**, v.69, p.103-115, 1999.
- JOHN, C. E. **Implantação de um Biorreator para estudo de resíduos sólidos urbanos: problemas, ajustes e soluções de laboratório**. 2004. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- RITTMANN B.E., MCCARTY P.L. **Environmental Biotechnology: principles and applications**. New York: McGraw-Hill, 2001.