



II-059 - VARIAÇÕES COMPORTAMENTAIS NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS, NA DIVERSIDADE DE ARCHAEAS METANOGÊNICAS E NA REDUÇÃO DA DQO DURANTE A DIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE SUÍNOS

Pablo Heleno Sezerino⁽¹⁾

Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (PPGEA/UFSC) com Doutorado Sanduíche na Universidade Tecnológica de Munique (TUM/Alemanha). Professor e Pesquisador da Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC Campus Videira).

Alessandra Pellizzaro Bento⁽¹⁾

Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (PPGEA/UFSC) com Doutorado Sanduíche na Universidade Tecnológica de Munique (TUM/Alemanha). Professora e Pesquisadora da Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC Campus Videira).

Angela Renata Cordeiro Ortigara

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pela Universidade do Oeste de Santa Catarina. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (PPGEA/UFSC).

Aline Fantin

Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC Campus de Videira).

Valdir Eduardo Olivo

Acadêmico do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC). Bolsista de Iniciação Científica (PIBIC/UNOESC).

Endereço⁽¹⁾: Rua Paese, 190 – Bairro Universitário - Videira - SC - CEP: 89560-000 - Brasil - Tel: (49) 3533-4441 - e-mail: sezerino@unoescvda.edu.br e bentoalep@unoescvda.edu.br

RESUMO

Dentre os impactos gerados pelos dejetos suinícolas, destacam-se a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, a poluição orgânica pelos compostos orgânicos carbonados, nitrogenados e fosforados, a presença de microrganismos entomopatogênicos, as alterações das características físicas, químicas e biológicas dos solos e a poluição do ar pela emissão de gases que contribuem para o efeito estufa. Uma das formas de atenuar as consequências desta potencial poluição ambiental é o uso correto de biodigestores anaeróbios. Dentro dessa perspectiva, o objetivo geral deste estudo foi avaliar a eficiência na remoção de DQO, a produção de biogás e a composição das archaeas metanogênicas durante a biodigestão de dejetos de suínos. Para tanto, 5 biorreatores com diferentes proporções substrato/inóculo foram submetidos a diferentes TDH. Realizaram-se análises físico-químicas e biológicas através da técnica de FISH, e medição diária do deslocamento de NaOH em cada reator, estimando-se a produção de metano nas diferentes condições impostas. Após 13 dias de digestão anaeróbia, a DQO do dejetos foi removida em índices de 40 a 79%. Com 5 dias de tempo de detenção foi possível obter redução de 60% da DQO. Os maiores volumes de NaOH deslocado nas diferentes etapas de operação variaram entre 9,7 a 18,8 litros. Microrganismos dos domínios Archaea e Bactéria foram detectados em todas as etapas do estudo, apresentando 100% de frequência, sendo que as Archaeas metanogênicas do gênero *Methanosarcina*, e das espécies *Methanomicrobium spp.*, *Methanogenium spp.*, apresentaram frequências de 60 e 83,4%, respectivamente. O reator que operou com 80% de inóculo (reator 5) apresentou alta capacidade de remoção de DQO e alta concentração de biomassa ativa, no entanto, não manteve uma considerável produção de metano, pois a relação A/M relativamente baixa neste reator impôs condições de endogenia celular. A partir dos dados obtidos no presente estudo, verifica-se que as condições experimentais impostas no reator 3 (40% de inóculo) e no reator 4 (60% de inóculo) são as mais indicadas para novos testes, com grande possibilidade de aplicação em escala real. Para tanto, diferentes tempos detenção hidráulica deverão ser testados, variando conforme a carga orgânica a ser tratada e as condições climáticas locais, porém, o TDH não deve ser menor do que 13 dias, pois conforme demonstrado em laboratório a 35°C, períodos inferiores a este podem ser insuficientes para que ocorra a metanogênese completa e com isso, a otimização do processo.

PALAVRAS-CHAVE: Digestão anaeróbia. Dejetos de suínos. Biogás. Archaeas metanogênicas.



INTRODUÇÃO

A atividade da suinocultura exerce um papel fundamental na economia, na cultura e no meio natural brasileiro. A grande competitividade na produção de carne suína e o baixo custo resultante da disponibilidade de terra, água, grãos, além de temperaturas adequadas nas diversas áreas do país permitem ao Brasil ser um dos países de maior produção e com o menor preço para a exportação. O estado de Santa Catarina destaca-se no cenário nacional com um rebanho estimado de 5,5 milhões de suínos. Mesmo com tantos benefícios relacionados à economia do estado e do país, tem-se uma grande problemática, pois se trata de uma atividade potencialmente poluidora, com graves consequências ambientais.

A atividade da suinocultura é uma das principais responsáveis pela degradação ambiental no estado catarinense, especialmente nas regiões Meio-Oeste e Oeste, onde se concentra a produção de animais. Dentre os impactos gerados, destaca-se a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, a poluição orgânica pelos compostos orgânicos carbonados, nitrogenados e fosforados, a presença de microrganismos entomopatogênicos, as alterações das características físicas, químicas e biológicas dos solos e a poluição do ar pela emissão de gases que contribuem para o efeito estufa. Segundo Oliveira et al. (2003), os processos agrícolas, em destaque a suinocultura, estão entre os maiores responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa no Brasil e no mundo.

Os principais gases produzidos durante a degradação dos dejetos de suínos, comumente depositados em esterqueiras, lagoas de tratamento e diretamente no solo, são o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e os gases de nitrogênio (N), tais como o amônio (NH_4^+), o óxido nitroso (N_2O) e o gás nitrogênio (N_2). Ressalta-se que o CH_4 e o N_2O são mais nocivos que o CO_2 para o efeito estufa. Lima (2002) afirma que no Brasil os dejetos de animais depositados nos solos constituem uma das principais fontes de emissão de N_2O para a atmosfera. Porém, Ainda não se conhece exatamente a proporção dos impactos gerados por esses gases produzidos na suinocultura catarinense e brasileira. No entanto, uma das metas do Protocolo de Quioto contempla “a limitação e/ou redução de emissões de metano por meio de sua recuperação e utilização no tratamento de resíduos, bem como na produção, no transporte e na distribuição de energia”(CT Brasil, 2005).

A digestão anaeróbia de resíduos da agricultura e esterco de animais foi aplicada na França, Argélia e Alemanha após a II Guerra Mundial, em um período de carência de energia. Mas, na Europa, com o passar do tempo, o seu interesse diminuiu, principalmente, devido aos baixos preços dos combustíveis fósseis. Entretanto, depois da crise do petróleo em 1973, voltou a crescer o interesse na produção de energia por digestão anaeróbia de resíduos da agricultura e de lodo animal (Zeemann, 1991). Adicionalmente, com o aumento dos problemas ambientais relacionados ao efeito estufa, devido ao uso excessivo de energia fóssil, obteve-se um novo impulso para o desenvolvimento de energias alternativas. O metano produzido pela digestão anaeróbia pode ser usado como combustível para geração de energia elétrica, evitando assim sua emissão para a atmosfera e o agravamento do efeito estufa.

Em termos de controle da poluição hídrica, o tratamento de dejetos de suínos em biodigestores anaeróbios não consiste em uma solução única, devendo este, anteceder unidades destinadas a remoção de nitrogênio, fósforo, DQO remanescente e desinfecção. No entanto, o tratamento primário em biodigestores anaeróbios conduz a uma economia de área para implantação da estação de tratamento de dejetos e, de custos relacionados a aeração mecânica, além de valorizar esses resíduos, transformando-os em uma fonte de energia renovável (o metano) e em um lodo com boas características para o uso agrícola (biofertilizante).

Dessa forma, a proposta de identificar e otimizar a atividade microbiana em biodigestores de tratamento biológico de dejetos de suínos, visando a formação e o aproveitamento do metano, é de extrema importância tendo em vista as consequências oriundas da suinocultura no estado de Santa Catarina, em especial nas regiões Meio-Oeste e Oeste e a necessidade de redução da emissão de gases causadores do efeito estufa.

O objetivo do presente estudo foi avaliar a eficiência na redução de DQO, na produção de biogás e a composição microbiana (Archaeas metanogênicas) em bioreatores operados sob diferentes condições de carregamento orgânico e de concentração de inóculo, a partir de dejetos de suínos.



MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi alocado e conduzido no laboratório de Experimentação e Microbiologia Ambiental da UNOESC – Universidade do Oeste de Santa Catarina - Campus Videira, durante o período de maio a setembro de 2008. Os cinco módulos de acrílico, com volume útil de 3 litros cada, simularam cinco reatores anaeróbios de tratamento de dejetos de suínos, os quais operaram intermitentemente, em volume de reação de 1 litro, permanecendo em ambiente climatizado com temperatura de 35°C. Cada unidade foi fechada hermeticamente para a manutenção do ambiente anaeróbio (Fotografia 1).



Fotografia 1: Reator anaeróbio

Fonte: os autores.

No funcionamento dos reatores de bancada utilizaram-se dejetos pós-tratamento preliminar e lodo anaeróbio provenientes de uma granja produtora de suínos, localizada na região. Antes do início do tratamento os dejetos permaneceram acondicionados em temperatura ambiente. Em cada um dos biodigestores foi inoculado uma proporção de lodo anaeróbio, as quais 0% (controle), 20%, 40%, 60% e 80% para os reatores 1 (R1), 2 (R2), 3 (R3), 4 (R4) e 5 (R5), respectivamente. Dessa forma, obtiveram-se as seguintes relações S_o/X_o (substrato/inóculo):

Reator 1: Dejeito Bruto sem Inóculo

Reator 2: $\frac{S_o}{X_o} = \frac{800\text{mL}}{200\text{mL}} = 4$

Reator 3: $\frac{S_o}{X_o} = \frac{600\text{mL}}{400\text{mL}} = 1,5$

Reator 4: $\frac{S_o}{X_o} = \frac{400\text{mL}}{600\text{mL}} = 0,66$

Reator 5: $\frac{S_o}{X_o} = \frac{200\text{mL}}{800\text{mL}} = 0,25$

O dejeito bruto, o inóculo e o dejeito tratado foram caracterizados física e quimicamente no laboratório de Experimentação e Microbiologia Ambiental da UNOESC – Campus Videira, seguindo metodologias do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), em relação aos seguintes parâmetros: Potencial Hidrogeniônico (pH), pRedox (mV), Temperatura (Líquido °C), Demanda Química de Oxigênio (DQO - mg/L), Nitrogênio Total (NT - mg/L), Fósforo (PO_4^{3-} - mg/L), Sulfato (SO_4^{2-} - mg/L), Sólidos Totais (ST - mg/L), Sólidos Totais Voláteis (STV - mg/L) e, Sólidos Suspensos Totais (SST - mg/L).

A identificação dos grupos e espécies da microbiota presente nos biorreatores com ênfase na detecção de Archaeas metanogênicas foi realizada através da técnica de FISH – Hibridização com Fluorescência “In Situ” (AMANN et al., 1992), no Laboratório de Microscopia da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). As lâminas foram observadas através de um microscópio de Epifluorescência, dotado de lâmpada de mercúrio com potência de 50 W. As observações foram realizadas com ampliações de 1000x. Foi utilizado filtro específico para DAPI (filtro Zeiss nº. 01) e Cy3 (filtro Zeiss nº. 15) para as hibridizações. Previamente a essas determinações algumas etapas ocorreram no laboratório de Experimentação e Microbiologia Ambiental da UNOESC – Campus Videira, como a fixação imediata do inóculo e da massa líquida em etanol após cada ensaio experimental. Na identificação das Archaeas metanogênicas, foram utilizadas as seguintes sondas: UNIV1390 (todos os organismos), EUB338 I (maioria das bactérias), EUB338 II (Planctomycetales), EUB338 III (Verrucomicrobiales), ARCH915 (todas as Archaeas), EURY495 (Euryarchaeota), MB311 (Metanobacterales), MB1174 (Metanobacterales não *Methanothermus*), MX825 (*Methanosaetaceae*), SARCI645 (*Methanosarcina*), MG1200 (*Methanomicrobium*, *Methanogenium*, *Methanoculleus*, *Methanospirillum*, *Methanocorpusculum*, *Methanoplanus*).



Os gases produzidos nos reatores foram mensurados através da metodologia do frasco invertido, onde foram adicionados em um frasco de Duran 500 ml de NaOH a 5%, sendo esta solução responsável por reagir com CO_2 formado, permitindo assim que todo o volume de NaOH deslocado devido a diferença de pressão fosse relacionada com a formação de CH_4 . As leituras de NaOH deslocado eram realizadas 6 vezes por dia durante todas as etapas experimentais.

Durante todo o experimento, cada um dos cinco reatores operou sob as mesmas condições de inoculação e de climatização, conforme informações supracitadas. Os ensaios foram conduzidos em duas etapas, sendo na primeira, acompanhada a produção de gás até que o seu declínio fosse evidenciado. Nesta etapa, o procedimento foi repetido e avaliado por duas vezes, obtendo-se TDH (Tempo de Detenção Hidráulica) de 13 dias. A caracterização físico-química e biológica do material estabilizado foi realizada ao final de cada fase. Na segunda etapa experimental acompanhou-se o comportamento diário, num período de 1 a 5 dias de TDH, nos biorreatores, sendo a massa líquida retirada e caracterizada diariamente sob aspectos físico-químicos e biológicos.

RESULTADOS

Ensaio de 13 dias

O gráfico 1 demonstra uma elevada síntese de células no reator 5, o qual operou com 80% de inóculo. Este apresentou uma alta concentração de biomassa (36,7g/L SST) seguido pelo reator 1, que operou com 0% de inóculo, obtendo 33,5g/L (SST) de biomassa concentrada (gráfico 1). Ressalta-se que o dejetto bruto contém quantidades significativas de outros materiais em suspensão além de microrganismos.

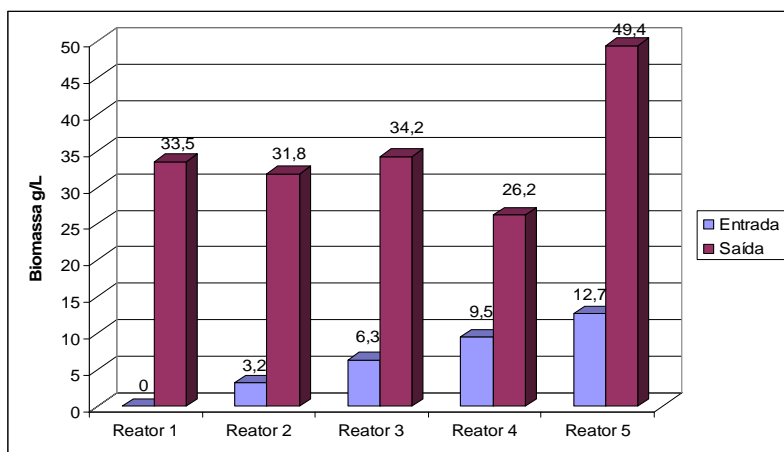


Gráfico 1: Estimativa da biomassa nos biorreatores na entrada e na saída do processo de tratamento, na Fase A da Etapa 1. Cálculo baseado na concentração dos SST e na proporção de inóculo adicionada em cada unidade.

Fonte: os autores.

As melhores eficiências de remoção de DQO foram obtidas nos reatores 4 e 5, os quais apresentaram um total de 40% e 29%, respectivamente (gráfico 2). Já os reatores 1, 2 e 3 não apresentaram remoção de DQO ao final do tratamento, sendo que uma das possíveis causas refere-se ao aumento da DQO nos primeiros dias, durante a hidrólise (1ª etapa da digestão anaeróbia). Dessa forma, mesmo ocorrendo a degradação durante o período de metanogênese, a DQO não atingiu, nestes reatores, valores inferiores aos do início do tratamento.

Modesto e outros (2002) observam que esse aumento da DQO no início do processo, pode estar relacionado com o fato de que parte da massa de DQO que é hidrolisada na 1ª fase da digestão anaeróbia passa a ser liberada mais tarde. Com o equilíbrio entre as diferentes fases do processo, a massa de DQO hidrolisada passa a ser quantitativamente convertida em metano.

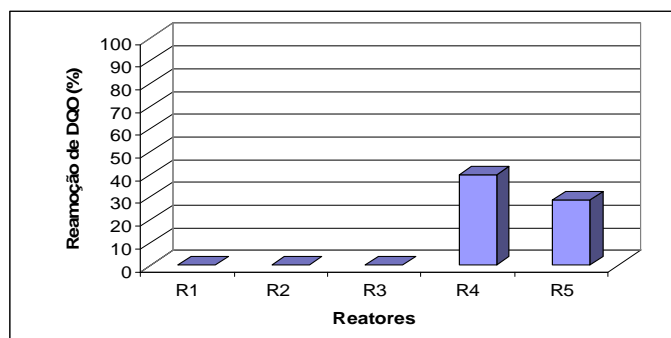


Gráfico 2: Remoção de DQO nos 5 Reatores após 13 dias de tratamento.
Fonte: os autores.

Através da Tabela 1, observa-se que o reator 4 (60% de inóculo) obteve a maior eficiência de remoção de DQO com 14,2g (massa) e 40% respectivamente. Esse mesmo reator apresentou um volume teórico de metano de 5,03L (gráfico 3), o maior registrado durante o período.

Tabela 1: DQO removida e produção de gases verificada nos reatores ao final do período de operação (13 dias)

	Remoção de DQO (%)	DQO total Removida (g)	Volume total de NaOH deslocado (L)	Volume teórico de metano produzido (L)*
Reator 1 100% Dejetos	0	0	9,7	-
Reator 2 S0/X0 = 4	0	0	5,2	-
Reator 3 S0/X0 = 1,5	0	0	5,3	-
Reator 4 S0/X0 = 0,66	40	14,2	18,8	5,03
Reator 5 S0/X0 = 0,25	29	7,2	7,6	2,55

*o volume teórico de metano produzido foi calculado considerando que cada 1g de DQO removida resulta em 0,354L de metano (AQUINO et al, 2007).

Fonte: os autores.

Os dados apresentados no gráfico 3 permitem observar que a produção de biogás, em geral, para as diferentes cargas orgânicas aplicadas nos 5 reatores durante os 13 dias de tratamento atingiu o máximo de 18,8L no reator 4, seguido pelo reator 1 (100% substrato) com 9,7L. Já o reator 2 apresentou valores mínimos de 5,2L, sendo que o volume teórico de metano produzido variou entre 2,55L (reator 5) e 5,03L (reator 4) (Tabela 2 e gráfico 3). Campos e outros (2005), avaliando a produção de biogás de um sistema de tratamento de efluentes de dejetos de suínos em escala laboratorial, com volumes de 38; 11,7 e 16 litros, respectivamente, obtiveram a produção de biogás com valor mínimo de 0,03L/dia e máximo de 0,36L/dia, sendo 0,14L/dia o valor médio de produção. Já os valores teóricos de CH₄ apontaram para o mínimo e o máximo de 0,07L/dia e 0,96L/dia, respectivamente, permanecendo com valor médio de 0,42/dia.

A produção média diária de metano verificada no presente estudo é significativamente maior que a produção detectada por Campos e outros (2005), com valor mínimo e máximo de 0,4L/dia no reator 2 e 1,5L/dia no reator 4, respectivamente, porém, não descarta-se a possibilidade de entrada de ar no sistema de medição. O volume teórico de metano diário apresentou valor mínimo de 0,19L/dia (reator 5) e máximo de 0,38L/dia (reator 4), permanecendo dentro dos valores detectados por Campos e outros (2005).

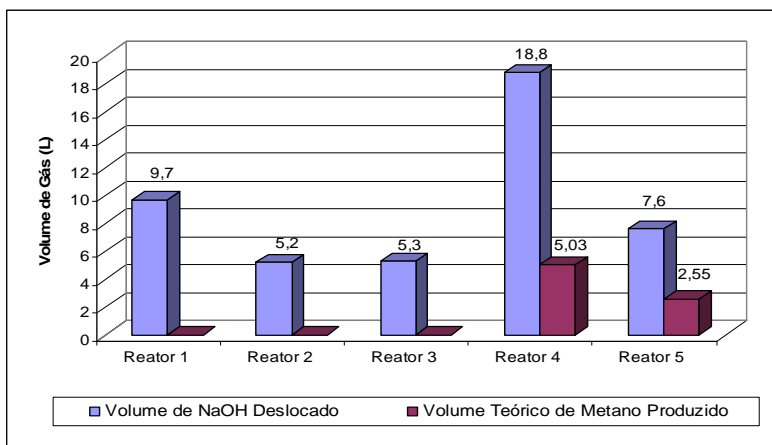


Gráfico 3: Volume de NaOH deslocado e de metano teoricamente produzido durante os 13 dias de operação.
Fonte: os autores.

Na repetição do experimento, durante o 2º. ensaio, com intuito de controlar melhor o volume de gás produzido, notou-se uma intensa síntese de células no reator 1, o qual operou sem o inóculo inicial, ou seja, com uma alta relação A/M, atingindo a maior concentração de biomassa (4,45g/L SST). No reator 2 também foi observado um incremento celular de 0,75g/L SST. Reduções da biomassa puderam ser percebidas nos reatores 3, 4 e 5, após a digestão do dejetto, indicando o processo de endogenia proveniente da escassez de substrato (baixa relação A/M) nessas unidades e do elevado tempo de detenção (gráfico 4).

Santana e Oliveira (2006), operando com dois reatores UASB, com volumes de 908L por cerca de 90 dias, com tempos de detenção hidráulica (TDH) de 31,1h e 62,3h registraram ao final do tratamento concentração de SST (biomassa) em torno de 2,8g/L e 4,0g/L, valores próximos aos registrados nos reatores 1 (4,45g/L) e 3 (2,6g/L), respectivamente.

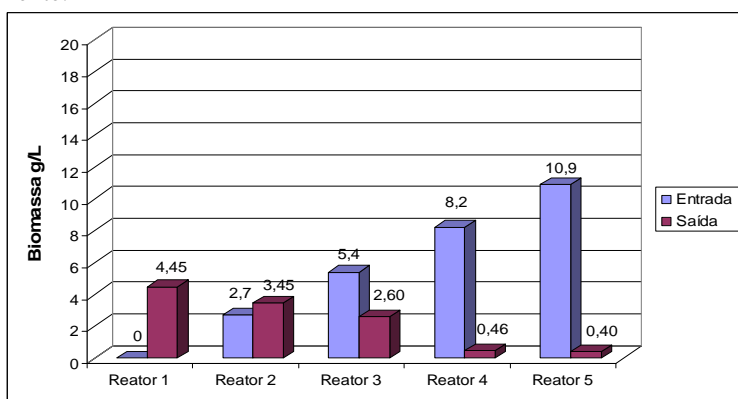


Gráfico 4: Estimativa da biomassa nos biorreatores na entrada e na saída do processo de tratamento na Fase B da Etapa 1. Cálculo baseado na concentração dos SST e na proporção de inóculo adicionada em cada unidade.
Fonte: os autores.

Conforme descrito na Tabela 2 e no gráfico 5, a redução de DQO após os 13 dias de digestão foi mais expressiva no reator 5 seguido pelo reator 2, nos quais se obteve eficiências de 79% e 70%, respectivamente.



Tabela 2: DQO removida e produção de gases verificada nos reatores ao final do período de operação

	Remoção de DQO (%)	DQO total Removida (g)	Volume total de NaOH deslocado (L)	Volume teórico de metano produzido (L)*
Reator 1 100% Dejeto	65	5,10	7,0	1,80
Reator 2 S ₀ /X ₀ =4	70	5,01	7,4	1,78
Reator 3 S ₀ /X ₀ =1,5	68	4,48	4,8	1,58
Reator 4 S ₀ /X ₀ =0,66	65	3,88	5,0	1,37
Reator 5 S ₀ /X ₀ =0,25	79	4,28	2,8	1,51

*o volume teórico de metano produzido foi calculado considerando que cada 1g de DQO removida resulta em 0,354L de metano (AQUINO et al, 2007).

Fonte: os autores.

Em termos de remoção de massa de DQO, foi verificada maior redução no reator 1 (5,10g), o qual iniciou a operação com o dejetto bruto e no reator 2 (5,01g/L) que foi preparado com 20% de inóculo.

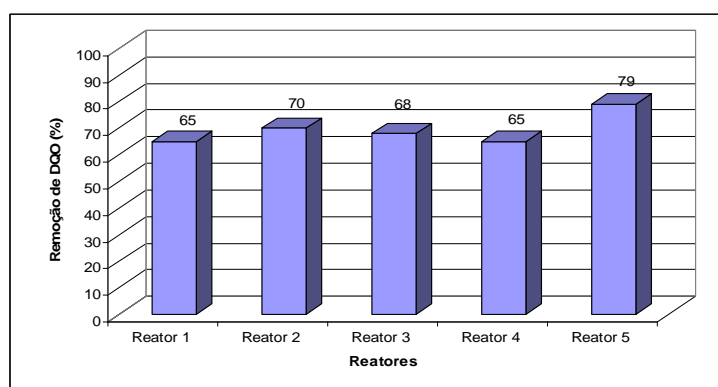


Gráfico 5: Remoção de DQO nos 5 Reatores após 13 dias de tratamento (repetição).

Fonte: os autores.

O comportamento do volume de gás produzido diariamente mostra que nos reatores com menor quantidade de biomassa inoculada (reator 1 e reator 2), houve uma súbita geração de gases nos primeiros dias, seguida por reduções crescentes (gráfico 6). Também observa-se queda significativa da produção de biogás, após o 9º e 10º dia de detenção hidráulica em todos os reatores. Fato explicado pela diminuição significativa da relação alimento/microrganismo durante o tratamento, reduzindo a quantidade de DQO disponível para a biomassa ativa.

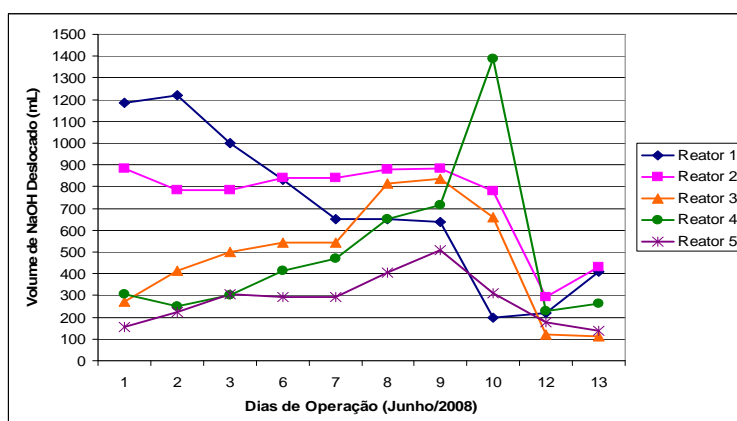


Gráfico 6: Volume diário de NaOH deslocado durante os 13 dias de operação dos biorreatores (Fase B).

Fonte: os autores.

A menor variação de produção de gases ao decorrer dos 13 dias foi verificada no reator 5 ($S_0/X_0 = 0,25$), o qual atingiu o máximo de 0,5L de NaOH deslocado no 9º dia, e um total de 2,8L ao final desta fase (gráfico

7). Nota-se também que esse reator apresentou após a estabilização do lodo, pH igual a 8,0, o maior já então detectado. A concentração teórica de metano em litros de biogás apresentou um valor mínimo de 1,37L no reator 4, o qual durante os 13 dias de operação deslocou um total de 5L de NaOH. Já os reatores 1 e 2 apresentaram os valores máximos de produção gasosa, com 7L e 7,4L, mantendo valores teóricos de produção de metano em 1,8L e 1,78L respectivamente (gráfico 7). Nos reatores 3, 4 e 5 foi observado aumento exponencial na produção de gás até o 9º dia para o reator 3 e 5, e o 10º dia para o reator 4, onde este atingiu o maior deslocamento de NaOH (1,4L) durante este ensaio (Gráfico 6).

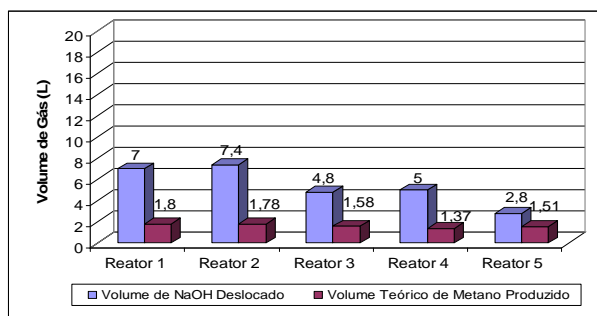
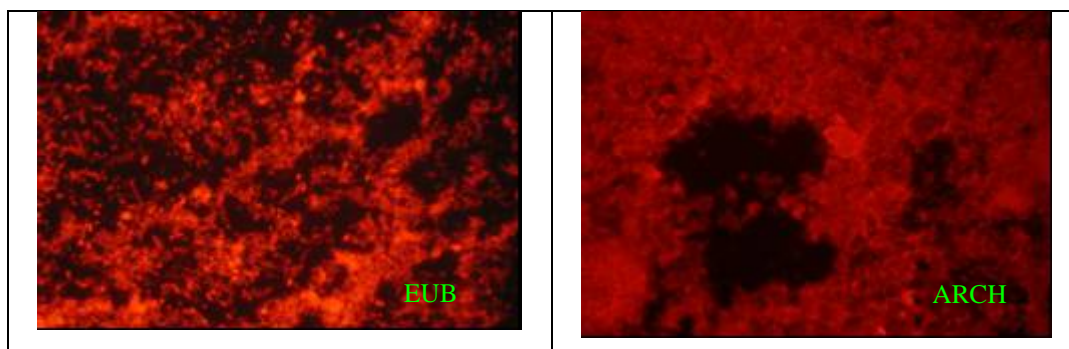


Gráfico 7: Volume de NaOH deslocado e de metano teoricamente produzido durante os 13 dias de operação (repetição).

Fonte: os autores.

O gráfico 7 também permite avaliar a variação do volume teórico de metano produzido nos 5 reatores, sendo que este é o principal componente do biogás. Segundo Chernicharo (1997), a composição global do biogás produzido durante a digestão anaeróbia varia de acordo com as condições ambientais presentes no reator. Esta composição muda rapidamente durante o período inicial de partida do sistema e, também, quando o processo de digestão é inibido. Para reatores operando de maneira estável, a composição do biogás produzido é razoavelmente uniforme. Entretanto, a proporção de gás carbônico em relação ao metano pode variar substancialmente, dependendo das características do composto orgânico a ser degradado.

Comparando os dois ensaios observou-se que para as sondas UNIV1390 (todos os organismos), EUB338mix (fotografia 2) e ARCH915 (fotografia 3) obteve-se resultados positivos, indicando a presença de microrganismos dos domínios Archaea e Bactéria no inóculo e em todos os reatores (100% de frequência). A microbiota hibridizada com a sonda EUB338mix, é representada por organismos do domínio Bactéria, incluindo a maioria das espécies, os Planctomycetales e a ordem Verrucomicrobiales, são microrganismos cruciais para as primeiras etapas da conversão da matéria orgânica em metano.



Fotografias 2 e 3: Células positivas para EUB338mix e para ARCH915 (aumento 400x).

Fonte: os autores.

Nota-se através do gráfico 8 que a sonda MX825 a qual hibridiza as espécies de *Methanosaetaceae*, obteve os menores índices de hibridizações durante o primeiro ensaio, 50% respectivamente. Porém, na segunda fase, o número de amostras hibridizadas com esta sonda aumentou consideravelmente para 83,4%. Com as sondas SARC1845e MG1200 obtiveram-se 100% de hibridizações em ambos os ensaio.

As hibridizações com a sonda fluorescente MB311 ocorreram em 83,4% das amostras, esta sonda detecta a presença da ordem Methanobacteriales, que compreende na família Methanobacteriaceae, a qual é subdividida



em 3 gêneros morfológicamente distintos; *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter* e *Methanosphaera*. Estes microrganismos utilizam o H_2/CO_2 , 2-propanol e metanol para produzir CH_4 .

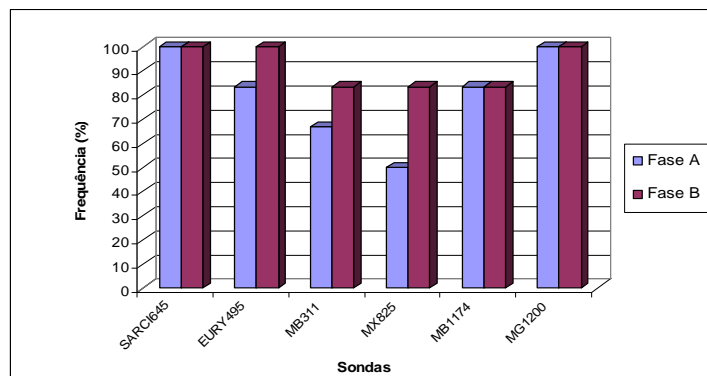


Gráfico 8: Frequência de hibridizações positivas nos dois ensaios de tratamento de dejetos durante 13 dias.
Fonte: os autores

A presença de Archaeas produtoras de metano, como as dos gêneros *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter*, *Methanosphaera* e *Methanosarcina*, além de outras, foram detectadas em 100% das amostras para o reator 5 (80% de inóculo), entretanto, o volume de biogás produzido (2,8L) e o volume teórico de metano (1,51L) foram relativamente baixos se comparados com os valores produzidos nos demais reatores. A remoção da DQO atingiu 79% após o período da digestão anaeróbia, entretanto esta foi facilitada pela elevada dimensão de biomassa ativa presente no reator 5 em relação à proporção de substrato.

As diferenças eventualmente visíveis na remoção de SST (biomassa ativa) na DQO, na produção de biogás e no volume teórico de metano produzido entre a Fase A e a Fase B, devem-se ao fato de que o afluente a ser tratado, apesar de ser oriundo da mesma granja de suínos era diferente entre as duas fases. Vale ressaltar que os dejetos sofreram constantes variações causadas por diversos fatores, principalmente fatores climáticos.

Ensaio de 5 dias

Ao longo de 5 dias de digestão anaeróbia dos dejetos de suínos verificou-se que a DQO_{total} sofreu um aumento expressivo no 1º dia de tratamento em todos os reatores, exceto, no reator 1. Entretanto após o segundo dia notou-se diminuições gradativas em todos os reatores, seguidas por pequenas oscilações (4º e 5º dia) determinadas por uma porção de DQO liberada pela biomassa ativa (SST) durante o processo de anabolismo devido à utilização do substrato orgânico como fonte de energia ou como material para sua síntese celular (Gráfico 9).

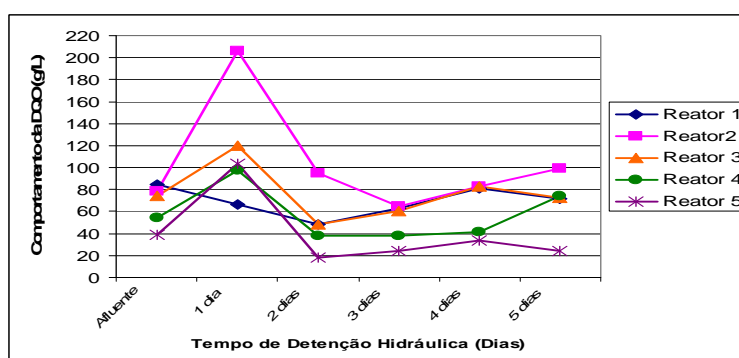


Gráfico 9: Remoção da DQO Total ao longo dos 5 dias de tratamento.
Fonte: os autores.

As maiores eficiências de remoção de DQO deram-se no reator 5 (80% de inóculo) com 60%, seguido pelo reator 3 (40% de inóculo) com 51%. Os reatores 1 e 2 apresentaram apenas 15 e 22% de remoção de DQO após o tratamento, sendo estes os reatores com as maiores concentrações de dejetos brutos (100% e 80%) (Gráfico 10).

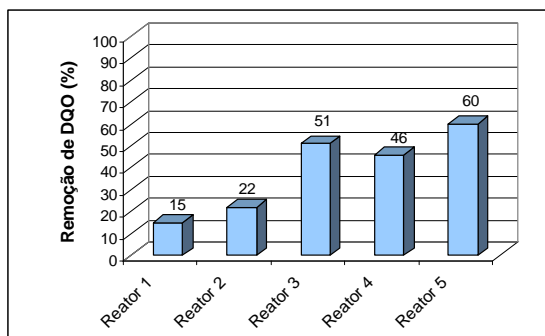


Gráfico 10: Remoção de DQO nos 5 reatores após 5 dias de tratamento
Fonte: os autores.

A maior concentração de NaOH deslocado durante o período foi verificada no reator 4 (60% de inóculo) com 11,7 L, seguido pelo reator 5 (80% inóculo) com 11,2 L (gráfico 11). O volume teórico de metano produzido nesses reatores foi de 8,8 L e 8,1 L respectivamente.

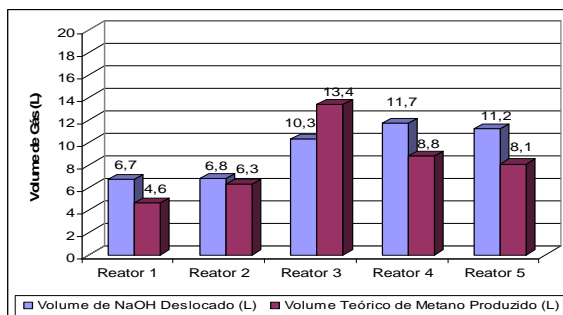


Gráfico 11: Volume de NaOH deslocado e de metano teoricamente produzido durante os 5 dias de operação.
Fonte: os autores.

O maior volume teórico de metano produzido em relação à proporção de deslocamento de NaOH deu-se no reator 2 (20% de inóculo), com 6,3L para o volume teórico de metano, representando cerca de 92,6% do volume total de biogás (6,8L). Porém os reatores 1 e 2, foram os que apresentaram menor deslocamento de NaOH ao longo dos 5 dias de digestão anaeróbia (6,7L e 6,8L). Como estes reatores possuíam a menor proporção de inóculo, fica evidenciada a falta de biomassa ativa para a produção de biogás nos primeiros dias de tratamento.

A produção de biogás variou entre 6,7L no reator 1 e 11,7L no reator 4, seguido pelo reator 5 com 11,2L, e o reator 3 com 10,3L. Porém o reator 5 no 4º dia de tratamento passou a diminuir a produção de gás, este fato pode ser explicado pela possível queda na relação alimento/microrganismo causada pela grande proporção imposta de substrato/inóculo (80%) para este reator. (Gráfico 18).

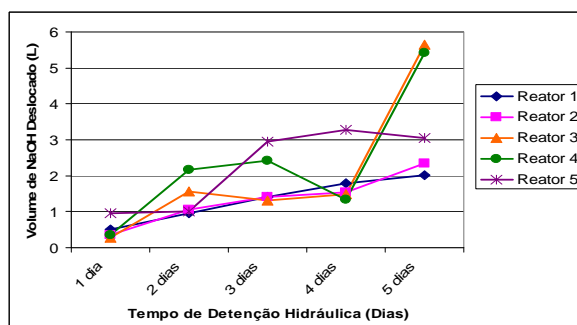


Gráfico 18: Produção diária de biogás em cada reator
Fonte: os autores



Archaeas metanogênicas do filo Euryarchaeota, do gênero *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter* e *Methanosphaera*, e das espécies, *Methanomicrobium spp.*, *Methanogenium spp.*, *Methanoculleus spp.*, *Methanospirillum spp.*, *Methanocorpusculum spp.*, e *Methanoplanus spp.*, ocorreram na grande maioria das amostras, permitindo verificar que estas Archaeas são restritamente responsáveis pela produção de biogás e, eventualmente, do gás metano (CH_4) através da conversão da matéria orgânica durante a digestão anaeróbia nos processos de tratamento de afluentes (Gráfico 19). Busato (2004) considera que os três gêneros detectados pela sonda MB1174 (*Methanobacterium*, *Methanobrevibacter* e *Methanosphaera*) responsáveis por cerca de 30 a 40% de toda a produção de metano em reatores anaeróbios.

Para a sonda MG1200 a qual identifica *Methanomicrobium spp.*, *Methanogenium spp.*, *Methanoculleus spp.*, *Methanospirillum spp.*, *Methanocorpusculum spp.*, *Methanoplanus spp.*, microrganismos que utilizam como substrato hidrogênio e CO_2 , para a produção de metano, ocorreram 100% de hibridizações nos reatores 1, 2, 4, já os reatores 3 e 5 atingiram cerca de 80%, de amostras positivas.

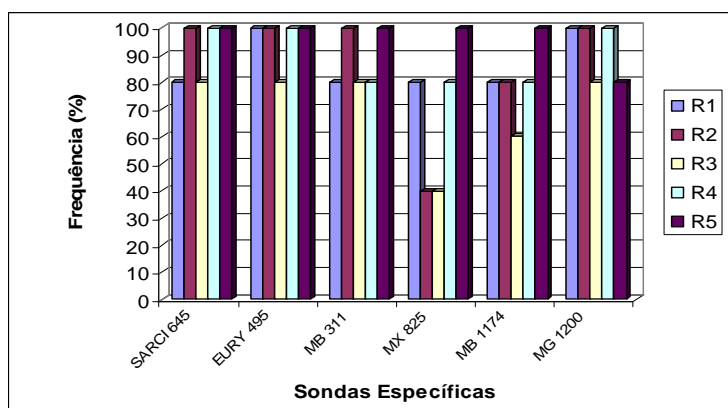


Gráfico19: Frequência de hibridizações positivas, nos 5 reatores em TDH de 5 dias

Fonte: os autores.

CONCLUSÕES

Conforme resultados obtidos durante o tratamento anaeróbio dos dejetos de suínos nos 5 biorreatores com diferentes proporções de substrato/inóculo, concluem-se que:

- A maior remoção de DQO após 13 dias de operação ocorreu no reator 4, 40% durante o primeiro ensaio e 79% durante o segundo ensaio;
- Durante o primeiro ensaio, o maior volume de NaOH deslocado após 13 dias de digestão anaeróbia ocorreu no reator 4 (18,8L), o qual apresentou em 100% das amostras Archaeas do filo Euryarchaeota, do gênero *Methanosarcina*, além das espécies *Methanomicrobium spp.*, *Methanogenium spp.* e *Methanospirillum spp.*, porém, o reator 1, o segundo maior produtor de biogás nesta fase (9,7L) não obteve hibridizações com o filo Euryarchaeota;
- Os reatores 1 e 2 obtiveram a maior produção de biogás com 7L e 7,4L, respectivamente, durante o segundo ensaio com 13 dias de TDH. Estes apresentaram hibridizações com todas as Archaeas metanogênicas avaliadas;
- A produção teórica de metano acumulada durante os 13 dias de operação, variou entre 1,37L e 5,03L (reator);
- O tempo de detenção de 13 dias foi elevado, proporcionando aos reatores com menores relações A/M a ocorrência da fase endógena de crescimento microbiano;
- Os domínios Archaea e Bactéria registraram 100% de frequência após 13 dias de TDH. As Archaeas metanogênicas do gênero *Methanosarcina*, e das espécies *Methanomicrobium spp.*, *Methanogenium spp.*, *Methanoculleus spp.*, *Methanospirillum spp.*, *Methanocorpusculum spp.*, e *Methanoplanus spp.*, ocorreram em todas as amostras avaliadas, tornando evidente a presença de hidrogênio, acetato, metanol, CO_2 e CO como substrato utilizado para a produção de biogás;
- Com 5 dias de TDH houve 60% de remoção da $\text{DQO}_{\text{total}}$ no reator 5, seguido pelo reator 3 com 51%. A massa de DQO apresentou maior remoção no reator 3 com 38g acompanhada pelo reator 4 com 25g;
- O menor volume de NaOH deslocado durante os 5 dias de tratamento ocorreu no reator 1 (6,7L) o qual obteve em suas amostras Archaeas metanogênicas pertencentes ao filo Euryarchaeota, a ordem Methanobacterales, e aos gêneros *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter*, e *Methanosphaera*. Já o reator 4



apresentou o maior volume acumulado de produção de biogás durante os 5 dias de tratamento (11,7L) obtendo em suas amostras a presença de todas as Archaeas metanogênicas avaliadas;

- O tempo de detenção hidráulica de 5 dias foi insuficiente para que os biorreatores, com as diferentes condições substrato/inóculo, atingissem sua capacidade máxima de remoção de DQO e produção de biogás;
- O reator 4 (60% de inóculo) obteve as melhores condições para que todos os parâmetros (físico-químicos e biológicos) atingissem as melhores eficiências;
- O reator 3 (40% de inóculo) também apresentou condições apropriadas para o tratamento anaeróbio, com produção de biogás estável. Já o reator 5 apesar de possuir alta capacidade de remoção de DQO e biomassa ativa, não demonstrou condições adequadas para manter uma considerável produção de metano, pois a relação A/M relativamente baixa neste reator impôs por várias vezes condições de endogenia celular;
- A partir dos dados obtidos no presente estudo, verifica-se que as condições experimentais impostas no reator 3 (40% de inóculo) e no reator 4 (60% de inóculo) são as mais indicadas para novos testes, com grande possibilidade de aplicação a campo, sendo que diferentes tempos de detenção hidráulica deverão ser testados, variando conforme a quantidade de afluente (dejetos) a ser tratado, porém, o TDH não deve ser menor do que 13 dias, pois este pode ser considerado insuficiente para que ocorra a metanogênese completa.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Fundação de Pesquisa do Estado de Santa Catarina – FAPESC e a Universidade do Oeste de Santa Catarina – UNOESC Campus Videira pelo suporte financeiro e ao Laboratório de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC pelo apoio técnico. Agradecer, também, os alunos bolsistas do Laboratório de Experimentação e Microbiologia Ambiental da UNOESC Campus Videira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMANN, R. I.; LUDWIG W.; SCHLEIFER K. H. Phylogenetic identification and in situ detection of individual microbial cells without cultivation. *Microbiol. Rev.* 143-169, v. 59, nº.1, mar. 1995.
2. AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L.; FORESTI, E.; SANTOS, M. L. F.; MONTEGGIA, L. O. Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios. *Eng. sanit. Ambient.* vol. 12, n. 2, abr/jun 2007.
3. BUSATO, R. Desempenho de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente como tratamento de efluente de reator UASB: estudo de caso da ETE de Imbituva. *Dissertação* (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.
4. CAMPOS, C. M. M.; MOCHIZUKI, E. T.; DAMASCENO, L. H. S.; BOTELHO, C. G.. Avaliação do potencial de produção de biogás e da eficiência de tratamento do reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) alimentado com dejetos de suínos. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 29, n. 4, p. 848-856, jul./ago., 2005
5. CT Brasil. Ministério da Ciência e Tecnologia. Tradução do protocolo de Quioto. In: <http://www.mct.gov.br/clima/quioto/protocolo.htm>. Acessado em 26 de Dezembro de 2005.
6. LIMA, M. A. Emissão de gases de efeito estufa provenientes de sistemas agrícolas no Brasil. In: *Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento*. p. 38-43. EMBRAPA Meio Ambiente, Jaguariúna – SP. 2002.
7. MODESTO, H. S.; LEITE, V. D.; CEBALLOS, B. S. O.; MARTINS, E. O.; SANTOS, E. M. P. Tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos. ABES - VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2002. In: Cd-room do evento.
8. OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M.; NUNES, M. L. A. Efeito Estufa. In: *Suinocultura Industrial*, v.25, n.172, p. 16-20, 2003.
9. SANTANA, A. M.; OLIVEIRA, R. A. Desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo em dois estágios tratando águas residuárias de suinocultura. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v.25, n.3, p.817-830, set./dez. 2005.
10. ZEEMAN, G. Mesophilic and psychrophilic digestion of liquid manure. *Tesis Doctor*. 1991. Landbouwniversiteit. Wageningen, Netherlands. 212 p.