



## II-069 - AVALIAÇÃO DA PARTIDA DE UM SISTEMA ANAERÓBIO EM DOIS ESTÁGIOS, CONSTITUÍDO POR UM REATOR UASB SEGUIDO DE UM FILTRO ANAERÓBIO, NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA

**Rose Maria Duda** <sup>(1)</sup>

Engenheira Química; Mestre em Microbiologia Agropecuária pela UNESP, Câmpus de Jaboticabal; Doutoranda em Microbiologia Agropecuária pela UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

**Roberto Alves de Oliveira** <sup>(2)</sup>

Engenheiro Agrônomo e Tecnólogo em Construção Civil; Mestre em Agronomia – Produção Vegetal pela UNESP, Câmpus de Jaboticabal; Doutor em Engenharia Civil - Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP); Professor Assistente Doutor, Departamento de Engenharia Rural, UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

**Endereço** <sup>(1), (2)</sup>: Departamento de Engenharia Rural - Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane - s/n - Jaboticabal/SP - Cep. 14884-900 – Brasil - Tel: (16) 3209-2638 - e-mail: roseduda@zipmail.com.br; oliveira@fcav.unesp.br;

### RESUMO

Neste trabalho estão apresentados os resultados obtidos durante a partida de um sistema de tratamento anaeróbio em dois estágios, constituído por um reator UASB (volume de 300 L) e um filtro anaeróbio (volume de 190 L), em série, no tratamento de águas residuárias de suinocultura. Para a partida do sistema de tratamento foi utilizado como inoculo, lodo proveniente de reatores UASB tratando águas residuárias de suinocultura, com sólidos voláteis de 9,2 g SV / L. O volume de lodo colocado no reator UASB (R1) e no filtro anaeróbio (R2) foi suficiente para preencher em torno de 30% e de 10% do volume total, respectivamente. O meio suporte utilizado no filtro foi composto por anéis de bambu. As cargas orgânicas volumétricas médias (COV) e os tempos de detenção hidráulico (TDH) aplicados no reator UASB e no filtro anaeróbio foram de 9,2 e 2,8 kg DQO total / (m<sup>3</sup> d) e de 36,0 e 17,6 horas, respectivamente. Foram observadas eficiências médias de remoção de demanda química de oxigênio total (DQO<sub>total</sub>), sólidos suspensos totais (SST), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), fósforo total (P-total), Cu e Zn de 92; 98; 47; 48; 58 e 72%, respectivamente, para o sistema de tratamento anaeróbio em dois estágios durante a partida. O valor da produção volumétrica de CH<sub>4</sub> média, no reator UASB e no filtro anaeróbio (R1 + R2) foi de 0,161 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> / m<sup>3</sup> d. As atividades hidrolítica, acidogênica, acetogênica, metanogênica acetotrófica e metanogênica hidrogenotrófica do lodo de inoculo foram de 0,1444; 0,4847; 0,1596; 0,1327 e 0,1195 mmolCH<sub>4</sub>/gSVT/h

**PALAVRAS-CHAVE:** digestão anaeróbia; nutrientes; resíduos de suínos, meio suporte, anéis de bambu.

### INTRODUÇÃO

A suinocultura é uma das atividades mais importantes do complexo agropecuário brasileiro, por ser predominantemente desenvolvida em pequenas propriedades rurais e em áreas com limitações topográficas para o estabelecimento de lavouras extensivas. As águas residuárias produzidas nestas propriedades rurais têm altas concentrações de matéria orgânica e também de nutrientes, como o nitrogênio e o fósforo. A maior parte delas não é usada como fertilizante no solo, devido ao grande volume e a pouca área disponível para a aplicação, e além de conterem coliformes fecais e metais (Cu, Mn, Zn e Fe) em grandes quantidades, as quais podem restringir a sua aplicação na irrigação de culturas agrícolas.

A crescente necessidade de reduzir custos de produção, aliado à consciência ambiental crescente e as pressões ambientalistas, tem favorecido a busca e a efetiva utilização de novas tecnologias de tratamento de efluentes, que contemplem o desenvolvimento sustentável (MATOS & COSTA, 2007). Neste contexto, a digestão anaeróbia de efluentes tem sido uma das principais tecnologias estudadas em virtude da sua fácil implementação, possibilitando a minimização do uso da água e de insumos de processo, bem como a geração de energia.

Segundo CRESSON et al (2008) o maior obstáculo para a difusão da digestão anaeróbia é o longo tempo de partida, ou seja, o período necessário para se obter microrganismos adaptados às condições operacionais dos reatores anaeróbios, com eficiências de remoção de matéria orgânica e produção de biogás, satisfatórias. Um dos procedimentos adotados para a partida de reatores anaeróbios de alta taxa é a inoculação.

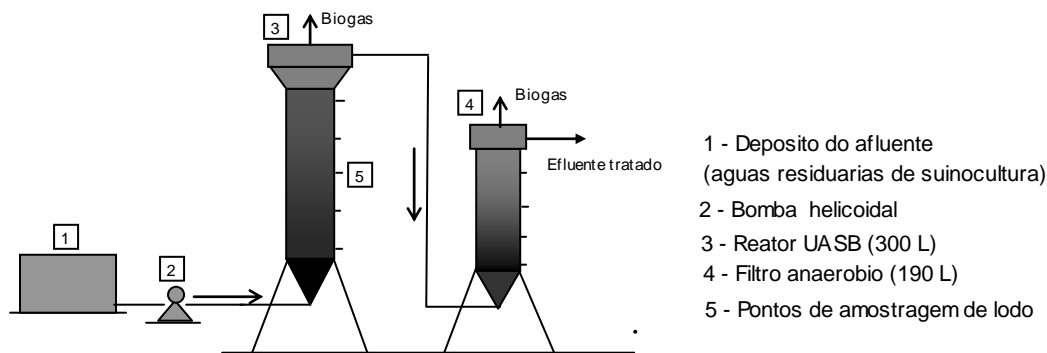
Portanto o objetivo deste trabalho foi avaliação do desempenho de um sistema de tratamento anaeróbio em dois estágios, constituído por um reator UASB seguido de filtro anaeróbio de fluxo ascendente, no tratamento de águas residuárias de suinocultura, com altas concentrações de sólidos suspensos, quanto à eficiência de remoção de matéria orgânica, nutrientes, produção e qualidade do biogás, durante a partida. Também foi avaliada a atividade metanogênica específica (AME) no lodo utilizado como inoculo, para o sistema de tratamento anaeróbio em dois estágios.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado nas instalações experimentais de reatores anaeróbios e aeróbios e laboratórios da área de Digestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Câmpus de Jaboticabal. O clima da região, segundo classificação de Koppen, é Cwa (subtropical úmido, seco no inverno e com chuva no verão), com precipitação média anual de 1.300 mm e temperatura média anual de 21°C.

A unidade experimental (Figura 1) utilizada para o tratamento anaeróbio das águas residuárias de suinocultura foi um reator UASB (volume total de 300 L) seguido de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente (volume total de 190 L), instalados em série. Para a obtenção do TDH e da COV no filtro anaeróbio foi utilizado o volume útil de 147 L. O reator UASB e o filtro anaeróbio foram construídos com tubos rígidos de policloreto de vinila (PVC) com seção transversal circular de 400 mm.

O meio suporte utilizado no filtro anaeróbio de fluxo ascendente foram anéis de bambu com dimensões médias de 4,6; 2,5 e 0,25 cm de comprimento, diâmetro externo e espessura de parede, respectivamente. A área superficial específica e o índice de vazios médios dos anéis de bambu foram de 92,5 m<sup>2</sup> / m<sup>3</sup> e 75%, respectivamente.



**Figura 1. Instalações experimentais do sistema de tratamento anaeróbio em dois estágios composto por um reator UASB (R1) seguido do filtro anaeróbio de fluxo ascendente (R2).**

Os dejetos utilizados como afluente foram coletados, diariamente, em confinamento de suínos na fase de terminação, com lâmina d'água, alimentados com ração à base de milho ou sorgo e soja, com complemento vitamínico e mineral. As instalações de confinamento utilizadas para a coleta dos dejetos de suínos, estão localizadas na UNESP, Câmpus de Jaboticabal e fazem uso intensivo de água (lâmina d'água) para transporte dos dejetos das baias. O afluente utilizado para a alimentação dos reatores UASB foram os dejetos de suínos pré-peneirados (peneira com malha quadrada de 3 mm).

Para a partida do sistema de tratamento anaeróbio foi utilizado lodo com concentrações de sólidos totais e voláteis de 11,9 g / L e 9,2 g / L, respectivamente, proveniente de um reator UASB tratando águas residuárias de suinocultura. O volume de lodo colocado no reator UASB e no filtro anaeróbio foi suficiente para preencher em torno de 30% e de 10% do volume total, respectivamente.



O tempo de detenção hidráulica (TDH) aplicado no reator UASB (R1) e no filtro anaeróbio de fluxo ascendente (R2) foi de 36,0 e 17,6 horas, respectivamente. Para o cálculo do TDH foi utilizado o volume útil do filtro anaeróbio (147 L). A carga orgânica volumétrica aplicada no R1 foi de 9,2 kg DQO total / (m<sup>3</sup> d).

Os exames físicos e as determinações de constituintes orgânicos e inorgânicos não metálicos efetuadas nas amostras coletadas, a frequência de realização e as fontes das metodologias utilizadas estão apresentadas na Tabela 1.

As amostras do afluente e efluentes do reator UASB e do filtro anaeróbio de fluxo ascendente foram coletadas duas vezes a cada semana, no período das 8:00 às 14:00 h, com intervalo de meia hora para cada coleta. As amostras de lodo foram coletadas semanalmente, para a determinação de ST e SV, as quais foram retiradas em cinco pontos de amostragem equidistantes ao longo da altura dos reatores. O volume de lodo coletado foi em torno de 200 mL em cada ponto de amostragem.

A produção do biogás foi determinada pelo volume de biogás produzido diariamente no período diurno, medindo-se o deslocamento vertical dos gasômetros, conforme descrito por OLIVEIRA (1997). Foram realizadas análises cromatográficas para a determinação dos teores de metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente no biogás produzido pelos reatores. As temperaturas médias do ar foram obtidas pela Estação Agrocimatólogica, situada no Campus da UNESP/Jaboticabal.

O ensaio da atividade metanogênica específica (AME) do lodo de inoculo baseou-se nas metodologias descritas por CHERNICHARO (1997), OLIVEIRA (1997) e SANTANA (2004). O ensaio da atividade metanogênica específica (AME) consistiu na determinação, por cromatografia gasosa, da concentração do gás metano presente no biogás armazenado no volume livre de frascos-reatores. Nos frascos-reatores foram adicionados 300 mL do lodo anaeróbio com sólidos voláteis (SV) em torno de 5 g / L. A proveniência do lodo de inoculo foi reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB) tratando águas residuárias de suinocultura. Foram adicionados individualmente como fontes de substrato o amido, glicose, propionato + butirato de sódio, acetato de sódio e formiato de sódio na concentração de 2,5 g DQO / L em cada frasco-reator. O ensaio foi realizado em duplicata.

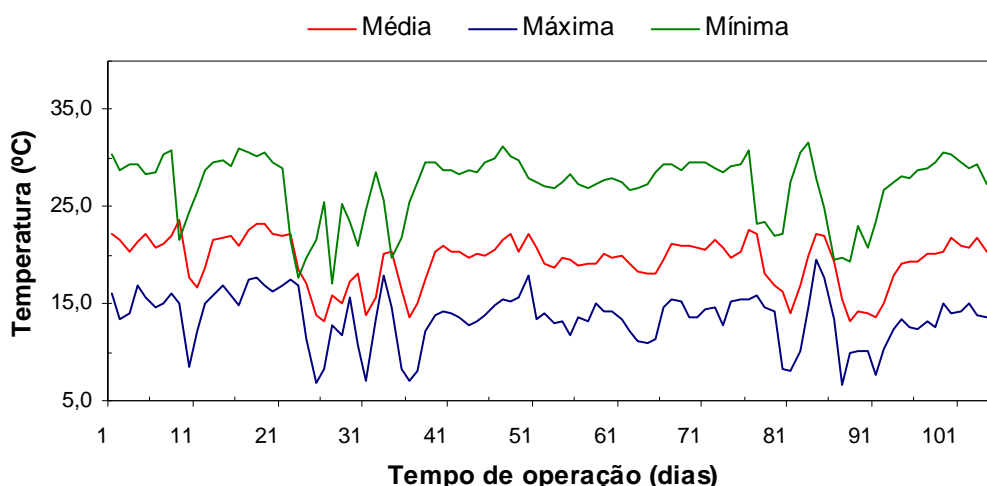
**Tabela 1. Exames físicos e determinações de constituintes orgânicos e inorgânicos não metálicos nos afluentes, efluentes, lodo e biogás do reator UASB seguido do filtro anaeróbio de fluxo ascendente.**

Exames e determinações	Frequência	Referências
<b>Afluente e efluentes (UASB, filtro anaeróbio)</b>		
pH	duas por semana	APHA, AWWA, WPCF (1998)
Alcalinidade total, parcial e intermediária.	duas por semana	APHA, AWWA, WPCF (1998), JENKINS et al. (1983)
Ácidos voláteis totais	duas por semana	DILALLO & ALBERTSON (1961)
Sólidos suspensos totais (SST) e voláteis (SSV)	duas por semana	APHA, AWWA, WPCF (1998)
Demanda química de oxigênio (DQO <sub>total</sub> ); DQO da fração dissolvida (DQO <sub>diss.</sub> ) e sólidos suspensos (DQO <sub>ss</sub> ).	duas por semana	APHA, AWWA, WPCF (1998) (método colorimétrico e digestão com refluxo fechado) e OLIVEIRA (1997)
Nitrogênio total kjeldal	duas por semana	APHA, AWWA, WPCF (1998)(método semi-micro Kjeldahl).
Nitrogênio amoniacal	duas por semana	APHA, AWWA, WPCF (1998)(método semi-micro Kjeldahl).
Fósforo total	duas por semana	APHA, AWWA, WPCF (1998) (método colorimétrico empregando metavanadato e molibdato de amônio).
Potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês, sódio e zinco.	duas por semana	APHA, AWWA, WPCF (1998) espectrofotômetro de absorção atômica.
Coliformes totais e fecais	duas vezes por ensaio	APHA, AWWA, WPCF (1998) (tubos múltiplos)
<b>Biogás</b>		
Produção	diária	OLIVEIRA (1997) (gasômetros)
Composição	quinzenal	APHA, AWWA, WPCF (1998)
<b>Lodo</b>		
Sólidos totais e voláteis (ST e SV)	semanal	APHA, AWWA, WPCF (1998)
Atividade metanogênica específica (AME) do inoculo		CHERNICHARO (1997); OLIVEIRA (1997) E STEIL (2001) e SANTANA (2004).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 estão apresentados os valores das temperaturas climatológicas máximas, médias e mínimas, observadas na Estação Agroclimatológica do Câmpus de Jaboticabal, durante a operação do sistema de tratamento anaeróbico em dois estágios. Durante o ensaio, ocorrido nos meses de maio a julho, foram observadas as temperaturas médias diárias com valor médio para o período de 19,3 °C; as temperaturas mínimas diárias, com valor médio para o período, de 13,5 °C e máxima de 27,1 °C.

As temperaturas médias na maior parte do tempo de operação dos reatores foram iguais ou superiores a 20°C, indicando que os reatores UASB, foram operados, predominantemente próximos ao limite mínimo da faixa mesofílica, de 20 a 45 °C (CHERNICHARO, 1997). Houve períodos em que os reatores foram operados na faixa psicrófila (abaixo de 15° C).



**Figura 2. Temperaturas climatológicas máxima, média e mínima, observadas na Estação Agroclimatológica durante o ensaio.**

Os valores médios das cargas orgânicas volumétricas (COV) aplicadas ao R1 e R2 foram de 9,2 e 2,8 kg DQO total / (m<sup>3</sup> d), respectivamente (Tabela 2). A carga orgânica volumétrica (COV) é um importante parâmetro para dimensionamento de reatores anaeróbios. Os valores de COV para filtros anaeróbios podem ultrapassar 20 kg DQO / (m<sup>3</sup>.d), por exemplo, no caso de efluentes de indústrias de alimentos, mas situam-se normalmente na faixa de 1 a 10 kg DQO (m<sup>3</sup>.d)<sup>-1</sup> (COUTO, 1993).

O tempo de retenção de sólidos (TRS) foi de 36 e de 34 d, no R1 e R2, respectivamente, na partida O TRS mínimo para o processo metanogênico é de aproximadamente 10 dias para a temperatura de 35°C (NDON & DAGUE, 1997).

Os valores médios das taxas de carregamento orgânico no lodo (TCL) no reator UASB e no filtro anaeróbio foram de 0,83 e 0,30, respectivamente (Tabela 9). A TCL, durante o regime permanente, pode atingir, de acordo com o tipo de água residuária a ser tratada, valores em torno de 2,0 kg DQO<sub>total</sub> / (kg SV<sub>lodo</sub> d) (CHERNICHARO, 1997).



**Tabela 2. Condições operacionais e tempo de retenção de sólidos (TRS) impostas ao sistema de tratamento em dois estágios com o reator UASB (R1) seguido de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente (R2) durante a partida.**

Parâmetros		média	c.v.
Duração do ensaio (dias)		100	-
TDH (h)	R1	36,0	-
	R2	17,6	-
COV (kg DQO <sub>total</sub> / (m <sup>3</sup> d))	R1	9,2	59
	R2	2,8	46
TCL (g DQO <sub>total</sub> / (g SV d))	R1	0,83	60
	R2	0,30	69
TRS (d)	R1	36	26
	R2	34	80

TDH – tempo de detenção hidráulica; COV - carga orgânica volumétrica, TCL – taxa de carregamento orgânico no lodo; TRS – tempo de retenção de sólidos; c.v. – coeficiente de variação.

Os valores médios do pH dos efluentes do R1 e de R2 foram de 7,1 e 7,3 respectivamente (Tabela 3). Segundo CHERNICHARRO (1997), a faixa ótima de pH para o desenvolvimento das metanogênicas é de 6,6 a 7,4, embora possa se conseguir estabilidade na formação de metano numa faixa de 6,0 a 8,0. No período do 35º dia ao 50º dia de operação do sistema de tratamento, não foram realizadas os exames físicos e as determinações em virtude de um incêndio acidental ocorrido em um dos laboratórios.

O valor médio de alcalinidade total (AT) no afluente foi de 742 mg / L. Nos efluentes dos reatores R1 e R2, observaram-se valores de AT maiores que os presentes nos seus afluentes (Tabela 3), indicando que houve incremento de alcalinidade, proporcionando capacidade tampão aos reatores. O aumento da alcalinidade total (AT) foi em virtude do acréscimo na concentração de bicarbonato, como pode ser observado nos aumentos dos valores médios da alcalinidade parcial (AP) nos efluentes do R1, de 695 mg / L, e do R2, de 730 mg / L, em relação ao efluente, de 109 mg / L. A alcalinidade intermediária (AI), proporcionada pelos ácidos graxos voláteis, diminuiu de 633 mg / L no afluente para 203 mg / L e 188 mg / L nos efluentes do R1 e do R2, indicando o consumo destes ácidos, principalmente, no R1. Os valores médios da relação AI/AP para o R1 foram de 0,31 e para o R2 de 0,27; respectivamente.



**Tabela 3. Valores médios e coeficientes de variação (c.v. em %) do pH, alcalinidade total (AT), alcalinidade parcial (AP), alcalinidade intermediária (AI), relação AI/AP e ácidos voláteis totais (AVT) do afluente e efluentes do reator UASB (R1) e do filtro anaeróbico de fluxo ascendente (R2) durante a partida.**

pH	Afluente	6,1	7
	R1	7,1	3
	R2	7,3	3
AT (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	Afluente	742	28
	R1	898	33
	R2	918	31
AP (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	Afluente	109	83
	R1	695	36
	R2	730	31
AI (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	Afluente	633	33
	R1	203	37
	R2	188	42
AI/AP	R1	0,30	47
	R2	0,27	49
AVT (mg CH <sub>3</sub> COOH L <sup>-1</sup> )	Afluente	635	43
	R1	153	63
	R2	157	62

pH – potencial hidrogeniônico; AT – alcalinidade total, AP – alcalinidade parcial; AI – alcalinidade intermediária; AVT – ácidos voláteis totais, c. v. – coeficiente de variação.

De acordo com RIPLEY et al. (1983), valores da relação AI/AP superiores a 0,3 indicam a ocorrência de distúrbios no processo de digestão anaeróbia. Segundo FORESTI (1994), é possível ocorrer estabilidade no processo com valores diferentes 0,3; sendo prudente a verificação para cada caso em particular, o que ocorreu em alguns momentos no R1 e no R2 sem comprometer a estabilidade dos valores de pH, alcalinidade e ácidos voláteis totais.

As concentrações médias de AVT nos efluentes do R1 e do R2 foram de 153 e 157 mg / L respectivamente (Tabela 3). Os valores de AVT recomendados por GIRARDI (2003) estão na faixa de 50 a 500 mg / L, para que exista estabilidade no processo anaeróbio.

Os valores médios de DQOtotal, DQOdiss, e DQOss verificados no afluente foram de 13830; 1812 e de 12018 mg /L, respectivamente (Tabela 4). Os valores médios da DQOss do afluente correspondem a 87% da DQOtotal. Os valores médios das eficiências de remoção de DQOtotal foram de 83 e 53%, de 70 e 27% para a DQOdiss e de 85 e 61% para a DQO ss, no R1 e R2, respectivamente. As eficiências de DQOtotal, DQOdiss e DQOss do sistema (R1+R2) foram de 92, 77 e 94%, respectivamente.

Os valores médios de SSV no efluente do reator UASB e do filtro anaeróbio foram de 430 e 50 mg /L, respectivamente e corresponderam de 65 e 45% dos valores médios de SST, respectivamente. Os valores médios das eficiências de remoção de SST foram de 89, 80, 98% e de 76, 83 e 97% para os SSV, para o R1, R2 e R1 + R2, respectivamente.

A inclusão do filtro anaeróbio de fluxo ascendente no segundo estágio contribuiu para o aumento nos valores médios das eficiências de remoção da DQO e dos sólidos suspensos. O aumento nas eficiências de remoção de DQO e sólidos suspensos com a inclusão do segundo estágio no sistema de tratamento anaeróbio também foram observados por PEREIRA (2003), SANTANA & OLIVEIRA (2005), RAMIRES (2005), FERNANDES & OLIVEIRA (2006) e URBINATI & OLIVEIRA (2007). No entanto, esses resultados iniciais indicam que a utilização do filtro anaeróbio no segundo estágio pode aumentar a remoção de sólidos suspenso, as quais chegaram a 80 e 83%, respectivamente, para SST e SSV, com estabilidade (c.v. de 13%).





**TABELA 4. Valores médios das eficiências de remoção da DQO total, DQO diss, DQOss, SST, SSV e SSF e dos coeficientes de variação (c.v.) no sistema de tratamento anaeróbico em dois estágios, com um reator UASB (R1) seguido de um filtro anaeróbico de fluxo ascendente (R2) em série.**

	mg / L			Eficiência (%)		
	Afluente	R1	R2	R1	R2	R1 + R2
<b>DQO<sub>total</sub></b>	13830	2055	873	83	53	92
c.v.	66	48	83	14	62	7
<b>DQO<sub>diss</sub></b>	1812	620	435	70	27	77
c.v.	60	60	64	21	146	20
<b>DQOss</b>	12018	1423	464	85	61	94
c.v.	73	72	122	14	65	8
<b>SST</b>	6850	660	110	89	80	98
c.v.	48	55	56	8	13	2
<b>SSV</b>	2640	430	50	76	83	97
c.v.	94	55	71	34	13	3
<b>SSF</b>	3370	300	50	93	74	97
c.v.	83	88	70	6	30	3

DQO total – demanda química de oxigênio total; DQO diss – demanda química de oxigênio dissolvida; DQOss- demanda química de oxigênio devido aos sólidos suspensos, SST – sólidos suspensos totais; SSV – sólidos suspensos voláteis; SSF- sólidos fixos, c.v. (%) – coeficiente de variação.

No R1 e R2 o percentual de CH<sub>4</sub> no biogás foi de 74% e de 71%, respectivamente (Tabela 5). Os valores da produção volumétrica de CH<sub>4</sub> média para o R1 e R2 foram de 0,241 e 0,029 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> / (m<sup>3</sup> d), respectivamente. Para o conjunto de reatores (R1+R2), o valor de produção volumétrica foi de 0,255 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub> / (m<sup>3</sup> d).

**Tabela 5. Valores médios e coeficiente de variação (c.v.) da percentagem de metano (CH<sub>4</sub>) no biogás, das produções diárias e volumétricas de biogás e CH<sub>4</sub> obtidos durante a partida do sistema anaeróbico em dois estágios com o reator UASB (R1) seguido do filtro anaeróbico (R2) em série.**

	Produção diária de biogás (m <sup>3</sup> / d)			CH <sub>4</sub> (%)		Produção volumétrica de CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / (m <sup>3</sup> reator d))		
	R1	R2	R1+R2	R1	R2	R1	R2	R1+R2
	0,098	0,008	0,127	74	71	0,241	0,029	0,161
C V (%)	36	42	30	6	4	35	77	41

c.v. – coeficiente de variação.

As concentrações médias de NTK, N-am. e N-org. observadas no afluente foram de 930; 152 e 772 mg / L, respectivamente. Observaram-se valores médios das eficiências de remoção NTK e N-org. de 30 e 40%, no R1, e de 36 e 50% no R2 respectivamente. As eficiências médias de remoção de NTK e N-org. para o sistema de tratamento com o reator UASB e o filtro anaeróbico em série foram de 47 e 61%, respectivamente (Tabela 6).

Os valores médios da concentração de nitrogênio amoniacal (N-am.) aumentaram nos efluentes dos reatores R1 e R2 em série, para 185 e 190 mg / L, como resultado da amonificação.

Conforme constatado por OLIVEIRA (1997) e RAMIRES (2005) e também observado neste estudo, a concentração de N-am. no efluente não aumentou proporcionalmente com a redução de N-org., indicando que a maior quantidade de N-org. ficou retida na biomassa dos reatores (OLIVEIRA, 1997).



As concentrações médias de fósforo total no afluente foram de 312 mg / L. As eficiências médias de remoção de P-total no R1 e R1+R2 foram de 43 e 48%, respectivamente. O R2 pouco contribuiu para a eficiência de remoção do sistema de tratamento (R1+R2). As maiores eficiências de remoção de fósforo no reator UASB podem ser atribuídas, com base em resultados obtidos por PEREIRA (2003) e OLIVEIRA (1997) à retenção de sólidos no lodo do reator e a possibilidade de remoção por precipitação do fósforo.

**TABELA 6. Nitrogênio total kjeldahl (NTK), nitrogênio amoniacal (N-am.), nitrogênio orgânico (N-org.) e fósforo total (P-total) no afluente e efluente, e eficiência de remoção (E) de NTK, N-org. e P-total, obtidos durante a partida do sistema de tratamento com um reator UASB (R1) seguido de um filtro anaeróbio (R2) em série.**

	mg / L			Eficiência (%)		
	Afluente	R1	R2	R1	R2	R1 + R2
<b>NTK</b>	930	745	480	30	36	47
c.v.	32	29	27	80	48	45
<b>N- am.</b>	152	185	190	-	-	-
c.v.	32	37	36	-	-	-
<b>N-org.</b>	772	550	271	40	50	61
c.v.	36	54	40	66	44	29
<b>P- total</b>	312	180	168	43	9	48
c.v.	43	33	52	34	48	44

c. v. – coeficiente de variação.

As concentrações médias de Fe, Cu, Zn, Mn no afluente foram de 10,3; 1,3; 5,7; 1,8 mg L<sup>-1</sup> e de 106, 31, 93 e 103 mg L<sup>-1</sup> para o Ca, Mg, Na e K. As eficiências médias de remoção de Fe, Cu, Zn e Mn para o R1 foram de 78; 49; 69 e 53%, respectivamente e de 85; 58; 72 e de 66% para o sistema R1+R2.

**Tabela 7. Valores médios das concentrações de Fe, Cu, Zn, Ca, Mg, Na e K no afluente e efluentes, e das eficiências de remoção e coeficientes de variação (c.v.) obtidos durante a partida do sistema de tratamento com um reator UASB seguido de um filtro anaeróbio em série.**

	mg / L			Eficiência (%)		
	Afluente	R1	R2	R1	R2	R1 + R2
<b>Ca</b>	106	29	20	67	30	83
c.v.	64	62	64	30	220	11
<b>Mg</b>	31	18	16	41	9	47
c.v.	28	25	36	30	321	52
<b>Na</b>	93	74	63	21	14	34
c.v.	39	37	41	109	256	82
<b>K</b>	103	89	80	15	12	25
c.v.	42	51	55	183	272	103
<b>Fe</b>	10,3	2,8	2,4	78	-	85
c.v.	68	105	105	28	-	21
<b>Cu</b>	1,6	0,8	0,6	49	24	58
c.v.	37	47	31	139	100	48
<b>Zn</b>	5,7	1,3	1,6	69	-	72
c.v.	60	101	130	52	-	21
<b>Mn</b>	1,8	0,8	0,6	53	26	66
c.v.	56	39	59	42	143	53

c. v. – coeficiente de variação





Os sólidos totais do lodo variaram de 2,60 a 27,27 g / L ao longo da manta do R1 e de 31,6 a 1,06 g / L no R2 (Tabela 8). Com os maiores valores nas camadas inferiores, em virtude da estratificação proporcionada pela mistura proveniente do escoamento ascendente e de produção de biogás. A relação SV/SV foram superiores a 0,76 e 0,59 no R1 e R2, respectivamente.

As altas relações SV/ST evidenciam a predominância de matéria orgânica no lodo, e conseqüentemente a presença de microrganismos (OLIVEIRA, 1997). Segundo a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº375, 29/08/06, para fins de utilização agrícola, o lodo de esgoto ou produto derivado será considerado estável se a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais for inferior a 0,70, o que ocorreu somente no R2.

**Tabela 8. Valores médios e coeficientes de variação (c.v.), de sólidos totais (ST), voláteis (SV) e da relação SV/ST do lodo da manta do R1 e do R2 durante a operação do sistema de tratamento anaeróbio em dois estágios.**

Pontos de amostragem		R 1		R 2	
		g / L	c. v. (%)	g / L	c. v. (%)
P1	ST	27,27	76	31,60	10
	SV	21,20	75	24,70	24
	SV/ST	0,76	-	0,78	-
P2	ST	27,80	68	2,90	39
	SV	23,90	69	2,30	51
	SV/ST	0,86	-	0,79	-
P3	ST	7,51	100	1,30	34
	SV	6,09	103	0,97	48
	SV/ST	0,81	-	0,74	-
P4	ST	7,92	107	0,77	27
	SV	6,53	108	0,45	25
	SV/ST	0,82	-	0,58	-
P5	ST	2,60	52	1,06	63
	SV	2,07	60	0,70	87
	SV/ST	0,79	-	0,66	-

P1 – ponto 1 (inferior) ; P2 – ponto 2; P3 – ponto 3; P4 – Ponto 4; P5 – ponto 5; c. v. – coeficiente de variação; ST – sólidos totais; SV – sólidos voláteis; c.v. – coeficiente de variação.

O número mais provável de coliformes termotolerantes observados no afluente do reator UASB foi de  $9,2 \times 10^7$  NMP/100ml (Tabela 9). Verificaram-se eficiências de remoção de coliformes termotolerantes acima de 85% no R1 e R2, mas com concentrações nos efluentes acima de  $1,2 \times 10^5$  para coliformes termotolerantes, restringindo a aplicação das águas residuárias tratadas para a irrigação de plantas, tomando-se por base os limites estabelecidos na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357,17/03/05, na qual estão definidos os limites de coliformes termotolerantes de 200, 1000 e 4000 NMP/100 mL em corpos d'água de classe 1, 2 e 3, dos quais podem ser captadas águas para irrigação.

**Tabela 9. Valores médios de número mais provável (NMP/100 mL) de coliformes totais e termotolerantes nos afluentes e efluentes, e eficiências de remoção obtidos durante a partida do sistema de tratamento composto por um reator UASB (R1) seguido de um filtro anaeróbio (R2) em série.**

Local de amostragem	Coliformes totais		Coliformes termotolerantes	
	NMP/100 mL	% remoção	NMP/100 mL	% remoção
Afluente	$9,2 \times 10^7$	-	$9,2 \times 10^7$	-
R1	$8,0 \times 10^5$	98,10	$8,0 \times 10^5$	98,10
R2	$1,2 \times 10^5$	85,00	$1,2 \times 10^5$	85,00
R1+R2	-	99,86	-	99,86



As atividades hidrolítica, acidogênica, acetogênica, metanogênica acetotrófica e metanogênica hidrogenotrófica do lodo de inoculo foram de 0,1444; 0,4847; 0,1596; 0,1327 e 0,1195 mmolCH<sub>4</sub>/gSVT/h (Tabela 10). Valores similares foram observados por SANTANA et al. (2007), com valores variando de 0,167 a 0,237 mmolCH<sub>4</sub>/gSVT/h, para as atividades hidrolíticas, acetogênicas e metanogênicas acetoclásticas e hidrogenotróficas, para lodo proveniente de reatores anaeróbios tratando águas residuárias de suinocultura, com eficiências de remoção de sólidos suspensos totais superiores a 74%. O maior valor de AME, de 0,487 mmol, foi observado para a atividade acidogênica.

Com a utilização de diferentes fontes de substrato no ensaio de AME, observou-se o crescimento equilibrado das populações hidrolíticas, acetogênicas e metanogênicas acetoclásticas e hidrogenotróficas no lodo de inoculo. A observação do crescimento equilibrado de populações de microrganismos no lodo de inoculo, pode indicar que o lodo possui características necessárias, para a degradação de um resíduo orgânico complexo com predominância de carboidratos e proteínas, como as águas residuárias de suinocultura.

**Tabela 10. Valores médios da produção de CH<sub>4</sub> e da atividade metanogênica específica (AME) do lodo utilizado como inoculo em reatores anaeróbios, para as diferentes fontes de substrato proveniente.**

Atividade	Hidrolítica	Acidogênica	Acetogênica	Metanogênica acetotrófica	Metanogênica hidrogenotrófica
Fontes	amido	glicose	propionato + butirato	acetato	formiato
Produção de CH <sub>4</sub> (mmol CH <sub>4</sub> /h)	0,1913	0,6727	0,2290	0,2009	0,1842
AME (mmolCH <sub>4</sub> /gSVT/h)	0,1444	0,4847	0,1596	0,1327	0,1195

## CONCLUSÕES

A utilização de inoculo adaptado para a partida do sistema de tratamento anaeróbio em dois estágios (reator UASB seguido de filtro anaeróbio) com TDH de 53,6 horas e COV de 9,2 kg DQO total (m<sup>3</sup> d)<sup>-1</sup> no primeiro reator permitiu obter eficiências de remoção de DQO total e sólidos suspensos acima de 92%, de 47% para o NTK, 61% para o N-org.; 48% para o P-total e acima de 58% para o Fe, Cu e Zn.

A produção volumétrica de CH<sub>4</sub> média foi de 0,161 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> / (m<sup>3</sup> reator d) para o sistema de tratamento anaeróbio em dois estágios. Os valores da relação SV/ST observados no R1 e R2 variaram de 0,76 a 0,86 no R1 e de 0,58 a 0,79 no segundo R2, indicando a predominância de microrganismos no lodo presente. As atividades hidrolítica, acidogênica, acetogênica, metanogênica acetotrófica e metanogênica hidrogenotrófica do lodo de inoculo foram de 0,1444; 0,4847; 0,1596; 0,1327 e 0,1195 mmolCH<sub>4</sub>/gSVT/h, indicando o crescimento equilibrado das populações hidrolíticas, acetogênicas e metanogênicas acetoclásticas e hidrogenotróficas no lodo de inoculo.

O número de coliformes fecais manteve-se acima de 1,2x10<sup>5</sup> NMP/100 mL, restringindo a aplicação das águas residuárias tratadas para a irrigação de plantas, tomando-se por base os limites estabelecidos na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº357, 17/03/05.

## AGRADECIMENTOS

À FAPESP e a Tigre S. A. pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. AWWA, WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18 th. Washington, 1998.
2. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de águas e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, BR, 2005. 23 p.



3. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. Resolução nº 359, de 29 de agosto de 2006. *Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências*. Brasília, BR, 2006.
4. CHERNICHARO, C. A. L. de. Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: Polytécnica, 1997. 246 p.
5. COUTO, L.C.C. Filtro anaeróbio com bambu para tratamento de esgotos domésticos. 1993 86f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.
6. CRESSON, R.; ESCUDIE, R.; STEYER, J. Competition between planktonic and fixed microorganisms during the start-up of methanogenic biofilm reactors. *WATER RESEARCH* 42, p. 792 – 800, 2008.
7. DILALLO, R.; ALBERTSON, O. E. Volatile acids by direct titration. *Journal Water Pollution Control Federation*, Alexandria, v. 33, n. 4, p. 356-365, 1961.
8. FERNANDES, G. F. R.; OLIVEIRA, R. A. Desempenho de processo anaeróbio em dois estágios (reator compartimentado seguido de reator UASB) para tratamento de águas residuárias de suinocultura. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 243-256, jan/jun. 2006.
9. FORESTI, E. Fundamentos do processo de digestão anaeróbia. In: SEMINARIO LATINOAMERICANO, 3., 1994, Montivideo. Memórias... Montivideo: ICA, 1994. p. 96-109.
10. GIRARDI, M. H. The microbiology of anaerobic digesters. Jon Wiley & Sons, 2003. 130 p.
11. JENKINS, S. R., MORGAN, J. M., SAWYER, C. L. Measuring anaerobic sludge digestion and growth by a simple alkalimetric titration. *Journal Water Pollution Control Federation*, Alexandria, v. 55, n. 5, p. 448-453, 1983.
12. Matos, T. A. F.; COSTA, H. S. Estudo de hidrodinâmica e partida de reator UASB em escala de laboratório. In Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 24, 2007, Belo Horizonte – MG. Resumos... Belo Horizonte: ABES 2007, 1 CD- ROM
13. NDON, U. J.; DAGUE, R. R. Effects of temperature and hydraulic retention time on anaerobic sequencing batch reactor in the treatment of low-strength wastewater. *Water Research*, Oxford, v. 31, n. 10, p. 2455-2466, 1997.
14. OLIVEIRA, R. A. de; Efeito da concentração de sólidos suspensos do afluente no desempenho e características do lodo de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo tratando águas residuárias de suinocultura. 1997. 359 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.
15. PEREIRA, E.R. Desempenho e caracterização microbiana do processo de dois estágios com reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) tratando águas residuárias de suinocultura. 2003. 103 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
16. RAMIRES, R. dél ARCO. Produção de metano e remoção de matéria orgânica, nutrientes e microrganismos patogênicos em reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) em dois estágios tratando águas residuárias de suinocultura. 2005. 136 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.
17. RIPLEY, L. E.; BOYLE, W. C.; CONVERSE, J. C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. *Journal Water Pollution Control Federation*., Alexandria, v. 58, n. 5, p. 406-411, 1986.
18. SANTANA, A. M. de. Atividade da microbiota e desempenho de Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente com Manta de Lodo (UASB) em dois estágios tratando águas residuárias de suinocultura. 2004. 113 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.
19. SANTANA, A. M. de; DUDA, R. M.; OLIVEIRA, R. A. de Desempenho e atividade da microbiota de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB), em dois estágios, tratando águas residuárias de suinocultura. In Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 24, 2007, Belo Horizonte – MG. Resumos... Belo Horizonte: ABES 2007, 1 CD- ROM.
20. SANTANA, A. M. de; OLIVEIRA, R. A. de. Desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo em dois estágios tratando águas residuárias de suinocultura. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.25, n.3, p.817-830, set/dez 2005.
21. URBINATI, E. & OLIVEIRA., R. A. Efeito das cargas hidráulica e orgânica volumétrica no desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) em dois estágios no tratamento de águas residuárias de suinocultura IN CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA



SANITÁRIA E AMBIENTAL, ABES, 24, 2007, Belo Horizonte – MG. Resumos... Belo Horizonte: ABES 2007, 1 CD- ROM

22. YANG, Y.; TADA, C.; MIAH, S; TSUKAHARA, K. Influence of bed materials on methanogenic characteristics and immobilized microbes in anaerobic digester. Materials Science and Engineering C 24; 413–419, 2004.