



## **II-199 - REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA, NUTRIENTES E COLIFORMES DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA EM REATORES ANAERÓBIOS DE FLUXO ASCENDENTE COM MANTA DE LODO, EM DOIS ESTÁGIOS, SEGUIDOS DE REATOR AERÓBIO EM BATELADA SEQUENCIAL**

**Roberto Alves de Oliveira<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Agrônomo e Tecnólogo em Construção Civil, Mestre em Agronomia - Produção Vegetal pela UNESP, Câmpus de Jaboticabal e Doutor em Engenharia Civil - Hidráulica e Saneamento pela EESC, USP, Câmpus de São Carlos.

**Adriana Miranda de Santana<sup>(2)</sup>**

Bióloga, Mestre e Doutora em Microbiologia Agropecuária, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV-UNESP, Jaboticabal, Depto. de Engenharia Rural; Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane s/n, Cep. 14884-900 - Jaboticabal/SP, (016)3209 -2637, e-mail:oliveira@fcav.unesp.br.

### **RESUMO**

A pesquisa foi desenvolvida para avaliar o desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB), em dois estágios, seguidos por reator em batelada sequencial (RBS) aeróbio, para o tratamento de águas residuárias de suinocultura, com concentrações de sólidos suspensos totais (SST) de 4 e 16 g L<sup>-1</sup>. O sistema de tratamento anaeróbio foi constituído por dois reatores UASB em escala piloto, com volumes de 510 L (R1) e 209 L (R2), operados com cargas orgânicas volumétricas (COV) de 16 e 25 g DQO (L d)<sup>-1</sup> e tempos de detenção hidráulica (TDH) de 28 e 14 h no R1. O pós-tratamento do efluente dos reatores UASB foi realizado em RBS aeróbio, com volume útil de 210 L, operado com 1 e 2 ciclos diários e TDH de 56 e 28 h. Foram observadas maiores eficiências médias de remoção de DQO total com o maior TDH, alcançando 88% no conjunto de reatores UASB em dois estágios. Com o RBS aeróbio, utilizado para o pós-tratamento do efluente dos reatores UASB, foram obtidas eficiências médias de remoção acima de 73, 84, 69, 89 e 58% para a DQO total, SST, NTK, N-am. e P-total, respectivamente. Assim, no sistema de tratamento combinado anaeróbio-aeróbio (R1+R2+RBS), as eficiências médias de remoção da DQO total, SST, NTK, N-am. e P-total, atingiram valores de 93 a 97%, 92 a 98%, 71 a 88%, 86 a 91% e 64 a 78%, respectivamente. As concentrações médias de nitrogênio amoniacal no efluente foram abaixo do limite para o lançamento de efluentes em corpos d'água (< 20 mg L<sup>-1</sup>) nas condições operacionais estudadas. Para os coliformes termotolerantes as eficiências de remoções médias foram de 93 a 99%, obtendo-se o menor valor médio de 9,3 x 10<sup>3</sup> NMP/100 mL. O sistema proposto, nas condições experimentais, demonstrou ser adequado para a remoção biológica da matéria orgânica, nutrientes e de coliformes.

**PALAVRAS-CHAVE:** dejetos de suínos, pós-tratamento, reatores UASB, nutrientes, coliformes.

### **INTRODUÇÃO**

As águas residuárias de suinocultura são caracterizadas por altas concentrações de sólidos suspensos (0,5 a 3,0% de sólidos totais, conforme revisado por OLIVEIRA (2004)), DQO, N, P, Cu, Zn e coliformes. São produzidos grandes volumes de efluentes em consequência do tipo de manejo dos resíduos nos confinamentos de suínos, principalmente nos de grande porte, onde predomina a alternativa do uso intensivo de água para a higienização das baias dos suínos em fase de terminação. Fezes, urina e restos de ração são arrastados pela água de lavagem até um tanque, a partir do qual, muitas vezes são despejados num corpo de água ou dispostos no solo como fertilizante. Esses lançamentos geram sérios problemas ambientais.

O processo de digestão anaeróbia é amplamente usado para remover matéria orgânica de águas residuárias e hoje é uma alternativa tecnológica bem estabelecida para o tratamento de ampla variedade de resíduos gerados pelas atividades humanas, domésticas, industriais e agropecuárias.



O reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) representa um grande avanço da tecnologia anaeróbia para o tratamento direto de águas residuárias, sejam de natureza simples ou complexa, de baixa ou de alta concentração de sólidos solúveis ou com material particulado (KATO et al., 1999).

Neste reator os microrganismos responsáveis pela conversão da matéria orgânica em biogás ficam retidos no seu interior, possibilitando menores tempos de detenção hidráulica (TDH) e altos tempos de retenção celular (TRC) pela formação natural dos grânulos auto-imobilizados, tornando este sistema competitivo em relação a outras possibilidades de tratamento de águas residuárias (KATO et al., 1999).

Apesar das vantagens que os reatores UASB apresentam, a hidrólise dos sólidos suspensos orgânicos ainda é um fator limitante. O processo anaeróbio em dois estágios com a utilização de dois reatores UASB, com o primeiro reator hidrolítico e o segundo metanogênico, pode ser uma alternativa para superar esta dificuldade (VAN HAANDEL & LETTINGA 1994), melhorando o desempenho da conversão anaeróbia da matéria orgânica contida nas águas residuárias de suinocultura.

Mesmo com a grande aceitação e com as vantagens inerentes aos reatores anaeróbios, principalmente o UASB, permanece a grande dificuldade em produzir, isoladamente, efluente dentro dos padrões estabelecidos pela legislação ambiental (BRASIL, 2005).

O uso do reator em batelada sequencial (RBS) aeróbio é uma alternativa tecnológica capaz de proporcionar as variações das condições ambientais necessárias para a remoção biológica de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo (BERNET et al., 2000), além de coliformes e metais.

Portanto, neste trabalho com os reatores UASB em dois estágios, em escala piloto, seguidos do RBS aeróbio operados com diferentes tempo de detenção hidráulica (TDH) e cargas orgânicas volumétricas (COV), para o pós-tratamento de águas residuárias de suinocultura, avaliou-se a remoção da matéria orgânica, nutrientes e coliformes.

## MATERIAL E MÉTODOS

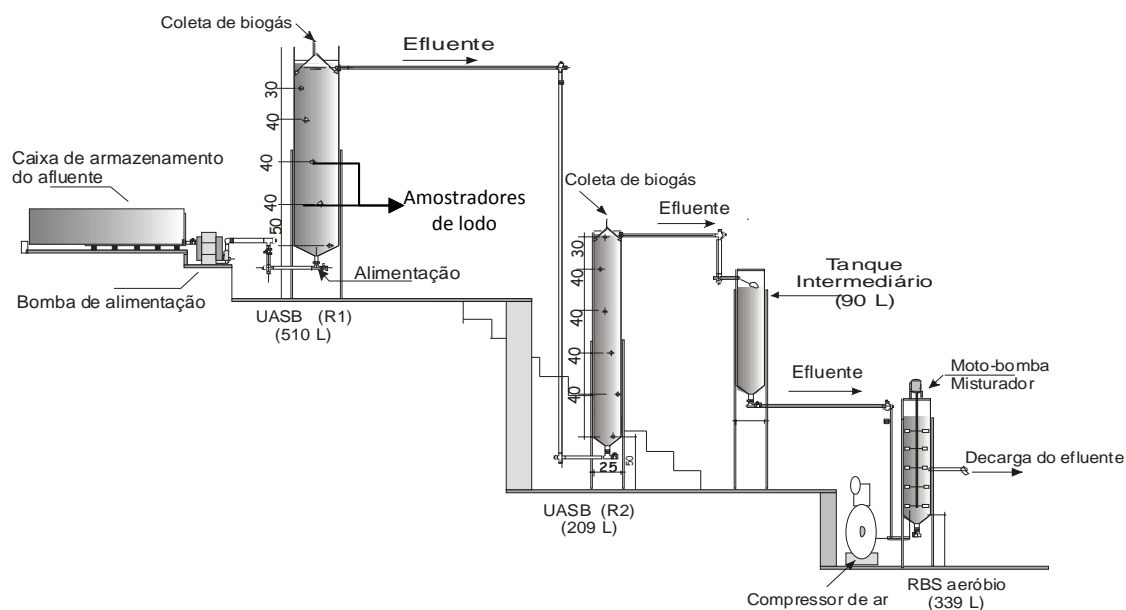
A pesquisa foi realizada nas instalações experimentais e laboratórios da área de Biodigestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias na Universidade Estadual Paulista - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, cujas coordenadas geográficas são: latitude de 21°15'22" S; 48° 18'58" W e altitude de 575 m.

O sistema de tratamento foi constituído por dois reatores UASB em escala piloto, instalados em série, com volumes de 510 L (primeiro estágio-R1) e 209 L (segundo estágio-R2), seguidos por RBS aeróbio, com volume de total de 339 L, e volume útil de 210 L, conforme ilustrado na Figura 1.

Acoplado às saídas de gás dos reatores UASB foram instalados gasômetros (de fibra de vidro) para o monitoramento da produção do biogás, conforme descrito por SANTANA & OLIVEIRA (2005).

Também foram montadas caixas para armazenamento dos dejetos de suínos, equipados com misturador, bomba helicoidal tipo Nemo, para a alimentação dos reatores UASB.

Foi construído com tubo de PVC de 300 mm um tanque intermediário, com volume total de 90L, diâmetro e altura de 1,07 m, para o armazenamento do efluente do segundo reator UASB e a alimentação do reator em batelada sequencial (RBS) aeróbio.



**Figura 1. Esquema dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB), em dois estágios, seguidos de reator em batelada sequencial (RBS) aeróbio.**

Os reatores UASB foram operados com tempos de detenção hidráulica (TDH) de 28 e 14 h para o primeiro reator, 11 e 6 h para o segundo reator. O RBS aeróbio foi operado com 1 e 2 ciclos diários e TDH de 56 e 28 h, para o primeiro e segundo ensaios, respectivamente. O RBS foi aerado com um uso de um compressor e o ar foi distribuído no interior do reator por meio de um difusor de membrana (bolha fina), o qual foi instalado na base do reator.

O afluente utilizado para a alimentação do reator UASB (R1) foram os dejetos de suínos pré-peneirados (peneira com malha quadrada de 3 mm). 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.

Para a avaliação do desempenho dos reatores, em amostras compostas do afluente e dos efluentes, foram determinadas, conforme descrito por APHA, AWWA, WPCF (1998): demanda química de oxigênio total (DQO total), sólidos suspensos totais (SST), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrogênio amoniacal (N-am.), nitrogênio orgânico (N-org.), fósforo total (P-total) e coliformes termotolerantes. E ainda no efluente do RBS aeróbio determinou-se o nitrito ( $\text{N-NO}_2^-$ ) e nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) pelo método espectrofotométrico (543 e 220 nm, respectivamente), e para a determinação do oxigênio dissolvido (OD), utilizou-se um medidor de oxigênio dissolvido (OD) com sonda 55 da marca YSI,

As condições operacionais impostas aos reatores UASB e ao RBS aeróbio estão resumidas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

**Tabela 1. Condições operacionais dos reatores UASB, em dois estágios (R1 + R2), nos ensaios 1 e 2.**

Ensaios	Duração	TDH <sup>(a)</sup>		SST <sup>(b)</sup>	DQO <sub>total</sub> <sup>(c)</sup>	COV <sup>(d)</sup>
	(dias)	(h)		afluente (mg L <sup>-1</sup> )		(g DQO total (L d) <sup>-1</sup> )
		R1	R2		R1	R1
1	105	28	11	16425	28514	25
2	65	14	6	4427	9049	16

(a) - tempo de detenção hidráulica, (b) - sólidos suspensos totais, (c) - demanda química de oxigênio (d) - carga orgânica volumétrica



**Tabela 2. Características do ciclo operacional, concentrações de sólidos suspensos totais (SST) e demanda química de oxigênio (DQO) do afluente, carga orgânica volumétrica (COV), tempo de detenção hidráulica (TDH) e tempo de operação, impostas ao reator em batelada sequencial (RBS) aeróbio durante os ensaios 1 e 2.**

Características operacionais do ciclo	Ensaio 1	Ensaio 2
Tempo de ciclo (h)	24	12
Volume de alimentação por ciclo (L)	90	90
Volume de alimentação por dia (L)	90	180
Tempo de alimentação (h)	0,5	0,5
Tempo de reação anaeróbia (h)	8,5	4,5
Tempo de reação aeróbia (h)	8,5	4,5
Tempo de sedimentação (h)	6,0	2,0
Tempo de retirada (h)	0,5	0,5
<b>Características do afluente e condições operacionais</b>		
SST afluente ( $\text{mg L}^{-1}$ )	1760	2036
DQO afluente ( $\text{mg L}^{-1}$ )	3298	5210
TDH (h)	56	28
COV ( $\text{g DQO (L d)}^{-1}$ )	1,4	4,5
Tempo de operação (dias)	105	65

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 estão apresentadas as características do afluente e dos efluentes dos reatores UASB e RBS aeróbio durante os ensaios 1 e 2. Os valores médios das eficiências de remoção de DQO total no efluente do R1 foram de 79 e 52%, quando operados com TDH de 28 e 14 h e COV de 25 e 16  $\text{g DQO}_{\text{total}} (\text{L d})^{-1}$ , nos ensaios 1 e 2, respectivamente. No R2, com TDH de 11 h, a eficiência de remoção de DQO total foi de 35% e com a diminuição do TDH para 6 h verificou-se eficiência média de remoção de 44% (Tabela 4).

KALYUZHNYI et al. (1999), utilizando reator UASB em um estágio no tratamento de águas residuárias de suinocultura com DQO de  $14700 \text{ mg L}^{-1}$ , obtiveram eficiência de remoção de DQO total de 77%, com COV de  $12,39 \text{ g DQO}_{\text{total}} (\text{L d})^{-1}$  e TDH de 28,6 h. Neste trabalho, o desempenho do R1 no ensaio 1, para a remoção de DQO total foi similar, 79%, com o dobro da COV.

No RBS aeróbio, alimentado com o efluente do R2, os valores médios de DQO total foram reduzidos de 3298 e  $5210 \text{ mg L}^{-1}$  para 639 e  $455 \text{ mg L}^{-1}$ , resultando em eficiências de remoção de 73 e 85%, nos ensaios 1 e 2, respectivamente. E para o sistema de tratamento combinado (R1 + R2 + RBS) foram observadas eficiências médias de remoção de DQO total de 97 e 93% durante os ensaios 1 e 2, respectivamente, (Tabela 4)

A eficiência média de remoção de SST no R1, para a COV de  $25 \text{ g DQO total (L d)}^{-1}$ , foi de 78%. Com a diminuição do TDH de 28 para 14 h a eficiência de remoção de SST foi de 51% no ensaio 2 (Tabela 4). Para o conjunto de reatores anaeróbios (R1 + R2), foram obtidas eficiências médias de remoção de SST de 89 e 52%, nos ensaios 1 e 2, respectivamente. Os menor valor de eficiência de remoção no ensaio 2 pode ser atribuído a intensificação do arraste de lodo com o menor TDH, em virtude do lodo ainda não estar adaptado ao aumento da velocidade ascensional do líquido.

As eficiências médias de remoção de SST no RBS aeróbio foram de 84 e 87%, respectivamente, nos ensaios 1 e 2. No sistema de tratamento combinado (R1 + R2 + RBS) foram observadas eficiências de remoção de SST de 98 e 92% nos ensaios 1 e 2, respectivamente, evidenciando o aumento do valor médio e da estabilidade (cv de 2 e 16%) da remoção de SST com a inclusão do RBS aeróbio (Tabela 4).



**Tabela 3. Valores médios e coeficientes de variação (cv) da demanda química de oxigênio total (DQO total), sólidos suspensos totais (SST), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrogênio amoniacal (N-am.), nitrogênio orgânico (N-org.), nitrogênio total (NT), nitrito (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) oxigênio dissolvido (OD) e número mais provável (NMP/100 mL) de coliformes termotolerantes, no afluente e efluentes, obtidos durante a operação dos reatores UASB, em dois estágios (R1 + R2), seguidos do reator em batelada sequencial (RBS) aeróbio, nos ensaios 1 e 2**

Parâmetros		Ensaio 1		Ensaio 2	
		Média	cv	Média	cv
DQO total (mg L <sup>-1</sup> )	Afluente	28514	47	9049	44
	R1	5582	76	3749	47
	R2	3298	74	5210	65
	RBS	639	45	455	61
SST (mg L <sup>-1</sup> )	Afluente	16425	58	4427	70
	R1	3335	78	1778	40
	R2	1760	89	2036	43
	RBS	165	27	227	53
NTK (mg L <sup>-1</sup> )	Afluente	1102	41	487	18
	R1	440	45	347	54
	R2	384	38	396	38
	RBS	96	75	110	71
N-am. (mg L <sup>-1</sup> )	Afluente	214	32	157	24
	R1	255	31	204	18
	R2	256	32	208	20
	RBS	27	49	11	155
N-org. (mg L <sup>-1</sup> )	Afluente	888	47	330	30
	R1	185	82	142	49
	R2	140	90	188	79
	RBS	69	147	99	27
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	Afluente	1,5 x 10 <sup>7</sup>	-	4,6x10 <sup>7</sup>	-
	R1	4,3 x 10 <sup>6</sup>	-	4,6x10 <sup>6</sup>	-
	R2	4,3 x 10 <sup>6</sup>	-	4,3 x10 <sup>6</sup>	-
	RBS	9,3x10 <sup>5</sup>	-	9,3x 10 <sup>3</sup>	-
NT (mg L <sup>-1</sup> )	Afluente (R2)	384	38	396	38
	RBS	129	62	148	39
OD (mg L <sup>-1</sup> )		3	98	2	70
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	RBS	6	127	7	74
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg L <sup>-1</sup> )		42	33	39	38



As concentrações médias de NTK no afluente do R1 foram de 1102 e 487 mg L<sup>-1</sup>, nos ensaios 1 e 2, e 81 e 68% estavam na forma orgânica (N-org.) e 19 e 32% na amoniacal (N-am.), respectivamente. Após o tratamento anaeróbio, com os reatores UASB em dois estágios (R1 + R2), a forma amoniacal (N-am.) aumentou para 67 e 52% do NTK, nos ensaios 1 e 2, respectivamente, evidenciando que a amonificação do N-org. ocorreu em ambos ensaios, porém com maior intensidade no ensaio 1, influenciada pelo maior TDH que propiciou melhores condições para a hidrólise do N-org. retido na manta de lodo.

**Tabela 4. Valores médios e os respectivos coeficientes de variação (cv) das eficiências de remoção de DQO total, SST, NTK, N-am., N-org. obtidos durante a operação dos reatores UASB, em dois estágios (R1 + R2), seguidos do reator sequencial em batelada (RBS), nos ensaios 1 e 2.**

Ensaio	Reator	Eficiência de remoção (%)											
		DQOtotal	cv	SST	cv	NTK	cv	N-org	cv	N-am	cv	NT	cv
1	R1	79	18	78	25	57	34	78	21	-	-	-	-
	R2	35	54	40	63	25	82	53	54	-	-	-	-
	R1+R2	88	8	89	13	63	25	84	19	-	-	-	-
	RBS	73	22	84	15	69	34	73	44	89	6	64	35
	Sistema*	97	2	98	2	88	13	93	13	86	8	85	15
2	R1	52	44	51	42	31	40	58	30	-	-	-	-
	R2	44	63	21	119	8	72	-	-	-	-	-	-
	R1+R2	53	56	52	65	21	65	54	54	-	-	-	-
	RBS	85	17	87	25	70	15	53	35	94	8	58	27
	Sistema*	93	7	92	16	71	8	94	14	91	14	68	13

\* sistema de tratamento combinado (R1+R2+RBS)

Para o N-am., os valores médios no afluente do RBS aeróbio foram de 256 e 208 mg L<sup>-1</sup> nos ensaios 1 e 2, respectivamente. Observou-se que os valores médios de N-am. decresceram para 27 e 11 mg L<sup>-1</sup> nos ensaios 1 e 2, respectivamente (Tabela 3). Ressaltando-se que no ensaio 2 as concentrações médias de N-am. no efluente do RBS aeróbio atenderam ao padrão de lançamento de efluentes contido na Resolução 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2005), ou seja, foram menores do que 20 mg L<sup>-1</sup>, e no ensaio 1 foram próximos.

As eficiências médias de remoção de N-am. no RBS variaram de 89 a 94%. Observou-se que com COV maior de 4,5 g DQO<sub>total</sub> (L d)<sup>-1</sup> (Tabela 2) no ensaio 2, ocorreu maior eficiência de remoção de N-am. No sistema de tratamento combinado (R1+R2+RBS), as eficiências de remoção de N-am. foram de 86 e 91%, nos ensaios 1 e 2, respectivamente.

As concentrações médias de NTK e NT no efluente do RBS foram de 96 e 110 mg L<sup>-1</sup> e de 129 a 148 mg L<sup>-1</sup> nos ensaios 1 e 2, respectivamente; valores médios inferiores aos do afluente, os quais variaram de 384 a 396 mg L<sup>-1</sup> (Tabela 3). As eficiências médias de remoção de NTK e NT no RBS foram 69 e 70% e de 64 e 58% nos ensaios 1 e 2, respectivamente. No sistema de tratamento combinado (R1+R2+RBS), as eficiências de remoção de NTK e NT foram de 88 e 71 e de 85 e 68%, respectivamente, nos ensaios 1 e 2.

Com base nesses resultados, pode-se inferir que houve atividade nitrificante e desnitrificante durante os ensaios de operação do RBS, confirmadas pela redução acentuada nos valores de NTK, N-am. e NT (Tabela 3). Esses resultados estão próximos aos encontrados por BERNET et al. (2000), os quais estudaram o tratamento de águas residuárias de suinocultura, com SST variando de 2,84 a 18,00 g L<sup>-1</sup>, em sistema com a combinação de dois reatores (RBS), em série. O RBS anaeróbio foi operado com COV de 4,8 g DQO (L d)<sup>-1</sup>. Ambos os reatores foram operados com 1 ciclo por dia (22 h de reação e o tempo de alimentação variando com a taxa de recirculação aplicada). Os autores observaram que as eficiências de remoção de NTK de 85 a 91 %.





Os valores médios de  $\text{N-NO}_2^-$ , nos ensaios 1 e 2, foram de 6 e 7  $\text{mg L}^{-1}$  (Tabela 3). Os valores médios de  $\text{N-NO}_3^-$  no efluente do RBS foi de 42 e 39  $\text{mg L}^{-1}$ , inferiores aos observados para o  $\text{N-NO}_2^-$ , o que pode indicar que a maior parte do N-am. do efluente e do N-org. amonificado no RBS foi oxidada até nitrato.

As concentrações médias de OD no efluente do RBS aeróbio variaram de 2,0 a 3,0  $\text{mg L}^{-1}$ , após a sedimentação, nos ensaios 1 e 2, respectivamente. Segundo METCALF & EDDY (2003) a concentração mínima de OD para que ocorra a nitrificação é de 2  $\text{mg L}^{-1}$ .

Os valores médios de coliformes termotolerantes no efluente do RBS foram menores no ensaio 2, com valores de  $9,3 \times 10^3$  NMP/100 mL. Para a utilização de águas residuárias tratadas na irrigação, a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda os seguintes critérios: (i) irrigação irrestrita:  $\leq 10^3$  coliformes termotolerantes (Cter)/100 mL; (ii) para a irrigação restrita  $\leq 10^4$  *E.coli* /100 mL; para a piscicultura adotam-se as seguintes recomendações:  $\leq 10^4$  Cter /100 mL no tanque de piscicultura ou  $10^3$  Cter/100 mL no afluente do tanque de piscicultura. O padrão bacteriológico deve ser observado em termos de média geométrica (WHO, 2006a, 2006b). Dessa forma, com os valores obtidos no ensaio 2, o efluente poderia ser utilizado para irrigação restrita e em tanques de piscicultura.

Os valores médios da concentração de P-total no afluente foram de 254 a 1049  $\text{mg L}^{-1}$ , nos ensaios 1 e 2, respectivamente. As eficiências de remoção de P-total no R1 foram de 56 e 53% nos ensaios 1 e 2, respectivamente. No R2, no ensaio 1, a eficiência média de remoção foi de 24%. No ensaio 2 não houve remoção de P-total, o que pode ter ocorrido em virtude da alta COV aplicada, de 16 g DQO total  $(\text{L d})^{-1}$ . Para o conjunto de reatores UASB em dois estágios (R1+ R2) as eficiências de remoção de P-total foram de 57 a 28%, nos ensaios 1 e 2, respectivamente.

**Tabela 5. Valores médios e coeficientes de variação (cv) das concentrações de fósforo total (P-total) no afluente e efluentes e da eficiência de remoção de P-total, obtidos durante a operação dos reatores UASB, em dois estágios (R1 + R2), seguidos do reator sequencial em batelada (RBS) aeróbio, nos ensaios 1 e 2.**

Ensaio s	P – total ( $\text{mg L}^{-1}$ )				Eficiência de remoção (%)				
	afluente	efluente							
		R1	R2	RBS	R1	R2	R1+R2	RBS	Sistema*
1	1049	462	457	160	56	24	57	66	78
2	254	120	209	85	53	-	28	58	64
cv	53	74	66	42	39	57	44	26	23
(%)	38	46	34	57	28	-	120	45	36

\* sistema de tratamento combinado (R1+R2+RBS); cv – coeficiente de variação.

As eficiências de remoção de P-total no RBS foram de 66 e 58%, resultando no sistema de tratamento combinado (R1 + R2 + RBS) eficiências médias de remoção de P-total de 78 e 64% nos ensaios 1 e 2, respectivamente (Tabela 5).

## CONCLUSÕES

A utilização dos reatores UASB em dois estágios (R1+ R2) foi eficiente na remoção da matéria orgânica, possibilitando obter eficiências de remoção de DQO total 88 e 53%, para as COV aplicadas.

O RBS foi eficiente na remoção de DQO total do efluente anaeróbio alcançando valores médios de 73 e 85%, com COV de 1,4 e 4,5 g DQO total  $(\text{L d})^{-1}$ , respectivamente.

As concentrações médias de nitrogênio amoniacal no efluente do RBS atingiram 11  $\text{mg L}^{-1}$ , abaixo do limite para o lançamento de efluentes em corpos d'água, contido na Resolução nº 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente ( $< 20 \text{ mg L}^{-1}$ ).



Com o sistema de tratamento combinado (R1 + R2 +RBS) foi possível aumentar as eficiências de remoção para 97 e 93%, 88 e 71%, 93 e 94%, 86 e 91%, 85 e 68% e de 78 e 64% para a DQO total, NTK, N-org., N-am., NT e P-total, nos ensaios 1 e 2, respectivamente.

O valor médio do número mais provável de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) no efluente do RBS atingiu  $9,3 \times 10^{-3}$  NMP/100 mL. Tomando-se por base os limites recomendados pela OMS, verificou-se que o efluente final poderia ser utilizado com restrições para a irrigação e para a piscicultura.

Portanto, o sistema proposto, nas condições experimentais, demonstrou ser adequado para a remoção biológica da matéria orgânica, nutrientes e de coliformes.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo) pela bolsa concedida e pelo auxílio financeiro, assim como à Tigre S. A - Tubos e Conexões, pela doação de materiais hidráulicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 15 th edition, Washington D.C, American Public Health Association, 1268 p,1998.
2. BERNET, N.; DELGENES, N.; AKUNNA, J. C.; DELGENES, J. P. Combined anaerobic-aerobic SBR for the treatment of piggery wastewater. *Water Research*, New York, v. 34, n. 2, p. 611-619, 2000.
3. BRASIL Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder legislativo, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58
4. KALYUZHNYI, S.; FEDOROVICH, V.; NOZHEVNIKOVA, A. (1999). The development of biological methods for utilization and treatment of diluted manure streams. *Water Science and Technology*, Kidlington, v. 40, n. 1, p.223-230
5. KATO, M. T.; ANDRADE NETO, C. O.; CHERNICHARO, C. A. L.; FORESTI, E.; CYBIS, L. F. Configurações de reatores anaeróbios. In: CAMPOS, J. R. (Org.). Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbios e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999. cap. 3, p. 53-59.
6. METCALF; E. *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*. New York: McGraw-Hill, 2003. 1334 p.
7. OLIVEIRA, R.A. de; FORESTI, E. Balanço de massa de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) tratando águas residuárias de suinocultura. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.24, n.3, p. 807-820, 2004.
8. 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. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 25, n.3, p 817-830, 2005.
9. VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. *Tratamento anaeróbio de esgotos: manual para regiões de clima quente*. Campina Grande: Epgraf, 1994. 210 p.
10. WHO. World Health Organization. Wastewater use in agriculture. In: \_\_\_\_\_.Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Geneva, 2006a. v. 2.
11. WHO. World Health Organization. Wastewater and excreta use in aquaculture. In \_\_\_\_\_.Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Geneva, 2006b. v. 3.