

TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA EM REATORES ANAERÓBIOS HORIZONTAIS SEGUIDOS DE REATOR AERÓBIO EM BATELADA SEQUENCIAL

ARIANE C. DOS SANTOS¹, ROBERTO A. DE OLIVEIRA²

RESUMO: Avaliou-se o desempenho de um sistema combinado anaeróbio-aeróbio para o tratamento de águas residuárias de suinocultura, com concentrações médias de sólidos suspensos totais (SST) de 18.624 e 11.395 mg L⁻¹. Foram utilizados quatro reatores anaeróbios horizontais com volume total de 49,5 L cada, um com manta de lodo (RAHML) e três de leito fixo (RAHLF), instalados em série e seguidos de um reator aeróbio operado em batelada sequencial (RBS) com volume total de 339 L e com alimentação contínua. Nos RAHLF, foram utilizados como meios suporte de anéis de bambu, anéis plásticos de eletroduto corrugado e anéis de bucha (*Luffa cylindrica*), respectivamente. Os tempos de detenção hidráulica (TDH) e as cargas orgânicas volumétricas (COV) aplicadas no RAHML foram de 12 e 10 h e 53 e 61 g DQO (L d)⁻¹, respectivamente. O RBS foi operado com ciclo de 24 h e COV de 0,34 e 0,50 g DQO (L d)⁻¹. As eficiências médias de remoção de DQO_{total} e SST para o conjunto de reatores anaeróbios horizontais, em série, foram de 96 e 99%, e de 96 e 95%, respectivamente. As maiores produções volumétricas de metano ocorreram nos RAHLF, com valores médios de até 0,744 m³ CH₄ (m³ reator d)⁻¹. A inclusão do RBS permitiu melhorar a qualidade do efluente e a estabilidade do sistema de tratamento, atingindo eficiências de remoção de DQO_{total} e SST de 99 e 99%, e de 98 e 99%, respectivamente. No RBS, ocorreu nitrificação e desnitrificação, com remoções de N-amoniaco de até 65%.

PALAVRAS-CHAVE: tratamento anaeróbio-aeróbio-anóxico, pós-tratamento, remoção de nutrientes, tratamento terciário, nitrogênio.

SWINE WASTE WATER TREATMENT IN HORIZONTAL ANAEROBIC REACTOR FOLLOWED BY AEROBIC SEQUENCING BATCH REACTOR

ABSTRACT: An anaerobic-aerobic combined system was evaluated to treat swine wastewater with an average total suspended solids (TSS) concentration of 18,624 to 11,395 mg L⁻¹. The anaerobic treatment system was constituted by four horizontal reactors each one having a total volume of 49.5 L, one with sludge blanket (HASBR) and three with fixed film (HAFFR) installed in series, followed by an aerobic sequential batch reactor (SBR) with continue feeding, with total volume of 339 L. In the HAFFR was used as support to fix the film bamboo and plastic rings, and wad (*Luffa cylindrica*). The hydraulic detention time (HDT) and the volumetric organic load (VOL) applied in HASBR were respectively 12 and 10 h, and 52.6 and 60.9 g COD (L d)⁻¹. The SBR was operated in a 24 hours operational cycle with VOL of 0.34 and 0.50 g COD (L d)⁻¹. The average of total COD and TSS removed in horizontal anaerobic reactors set were of 96 to 99% and of 96 to 95%, respectively. The higher methane production happened in HAFFR with values up to 0.744 m³ CH₄ (m³ reactor d)⁻¹. With the SBR inclusion improved the effluent quality and the stability of treatment system and COD and TSS removal increased to 99 and 99%, and to 98 and 99%, respectively. In the SBR occurred nitrification and denitrification, with ammoniacal-N removal up to 65%.

KEYWORDS: combined anaerobic-aerobic-anaoxic treatment, post-treatment, nutrients removal, tertiary treatment, nitrogen.

¹ Bióloga, Mestre em Microbiologia Agropecuária, UNESP, Jaboticabal - SP, Departamento de Engenharia Rural, arianechiareli@yahoo.com.br.

² Eng^o Agrônomo e Tecnólogo em Construção Civil, Doutor em Engenharia Civil-Hidráulica e Saneamento, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Rural, UNESP, Jaboticabal - SP; oliveira@fcav.unesp.br.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 5-6-2009

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 20-4-2011

INTRODUÇÃO

A alta densidade populacional de suínos em pequenas propriedades e, conseqüentemente, a geração de grandes volumes de dejetos, com consideráveis quantidades de matéria orgânica e nitrogênio, entre outros poluentes, destaca a suinocultura como importante fonte geradora de poluição, existindo a necessidade de controle da qualidade dos efluentes (RAMIREZ et al., 2003; ZHANG et al., 2006).

A utilização de sistemas anaeróbios vem sendo amplamente estudada para o tratamento de águas residuárias de suinocultura, em virtude da produção de energia e da pequena demanda de área (CAMPOS et al., 2005). A aplicação dos processos biológicos de tratamento de águas residuárias aumentou significativamente nas últimas décadas, especialmente dos reatores anaeróbios com biomassa imobilizada.

De acordo com ZAIAT et al. (1994) e BENIS et al. (2009), os reatores horizontais com biomassa imobilizada (RAHLF) são uma nova geração de reatores biológicos de alta taxa. Os RAHLF são capazes de manter alta concentração de biomassa aderida ao suporte, boas características hidrodinâmicas e tempo de detenção hidráulica relativamente curto para cargas orgânicas elevadas. Mas, segundo AMORIM et al. (2000), existe a necessidade de estudos para a determinação dos limites de aplicação de cargas orgânicas e volumétricas para o melhor aproveitamento do volume útil dos reatores, tornando-os mais econômicos.

Para algumas situações, como propriedades rurais, onde normalmente não existem grandes limitações de área de terreno, mas há necessidade de conservação do solo para a produção agropecuária; a maior facilidade de instalação e os menores requisitos de área e de complexidade estrutural de construção também podem configurar-se como vantagens para a utilização dos reatores anaeróbios horizontais.

O reator anaeróbio horizontal também pode ser utilizado somente com manta de lodo. BARBOZA (2002) avaliou o tratamento anaeróbio de substrato sintético simulando esgoto doméstico em reator horizontal tubular, sem meio suporte, e obteve eficiência de remoção de DQO superior a 80% com a aplicação de TDH de 4 h. SILVA et al. (2008) obtiveram bons resultados com o reator anaeróbio horizontal com chicanas tratando efluente agroindustrial (manipueira) e confirmaram o curto período de partida e as altas eficiências médias de remoção de DQO, em média de 78%, com efluente complexo e com aplicação de carga orgânica elevada.

A integração do sistema de tratamento anaeróbio e aeróbio reduz a matéria orgânica, e os nutrientes, como o nitrogênio, dos efluentes de suinocultura, além de apresentar menor consumo de energia para o tratamento. O reator aeróbio operado em batelada sequencial (RBS) é uma das tecnologias empregadas para o pós-tratamento biológico de efluentes de reatores anaeróbios e possuem menor custo quando comparados com o sistema convencional de lodos ativados. O ciclo de operação do RBS é predeterminado e realizado em cinco etapas: enchimento, reação, sedimentação, retirada do efluente e repouso (YANG & WANG, 1999; ZHANG et al., 2006).

SANTANA & OLIVEIRA (2008) utilizaram o RBS para o pós-tratamento de efluente de reatores UASB em dois estágios, tratando águas residuárias de suinocultura com DQO_{total} de 9.049 a 28.514 mg L⁻¹ e SST de 4.427 a 16.425 mg L⁻¹, e verificaram eficiências de remoção de até 97; 98 e 88 % para DQO, SST e nitrogênio total Kjeldahl (NTK), respectivamente.

Portanto, neste trabalho, avaliou-se o desempenho de quatro reatores anaeróbios horizontais em série, com a aplicação de altas cargas orgânicas volumétricas, de 53 e 61 g DQO_{total} (L d)⁻¹, e a utilização de diferentes formas de retenção de biomassa (manta de lodo e como meios suporte de anéis de bambu, anéis plásticos de eletroduto corrugado e anéis de bucha (*Luffa cylindrica*)) para o tratamento de águas residuárias de suinocultura. Também se avaliou o pós-tratamento do efluente dos reatores anaeróbios horizontais, em série, em reator aeróbio operado em batelada sequencial (RBS) com alimentação contínua.

MATERIAL E MÉTODOS

O sistema de tratamento foi constituído por quatro reatores anaeróbios horizontais, projetados e construídos conforme descrito por ZAIAT et al. (1994), sendo um com manta de lodo (RAHML - R1) e três de leito fixo (RAHLF - R2, R3 e R4), instalados em série. Para o pós-tratamento do efluente do conjunto de reatores anaeróbios horizontais, foi utilizado um reator aeróbio operado em batelada sequencial (RBS) com alimentação contínua, conforme ilustrado na Figura 1.

Os reatores horizontais, com volume total de 49,5 L cada, foram construídos com tubos de PVC, com 3 m de comprimento e diâmetro interno de 0,145 m, conforme descrito por BARBOZA (2002). Na partida, o R1 foi inoculado com lodo proveniente de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB), tratando águas residuárias de suinocultura. O volume de lodo de inóculo adicionado no R1 foi suficiente para preencher 30% do seu volume total. O meio suporte utilizado nos reatores horizontais de leito fixo (RAHLF) foram anéis de bambu no R2; anéis plásticos (PVC) de eletroduto corrugado no R3, e anéis de bucha (*Luffa cylindrica*), no R4.

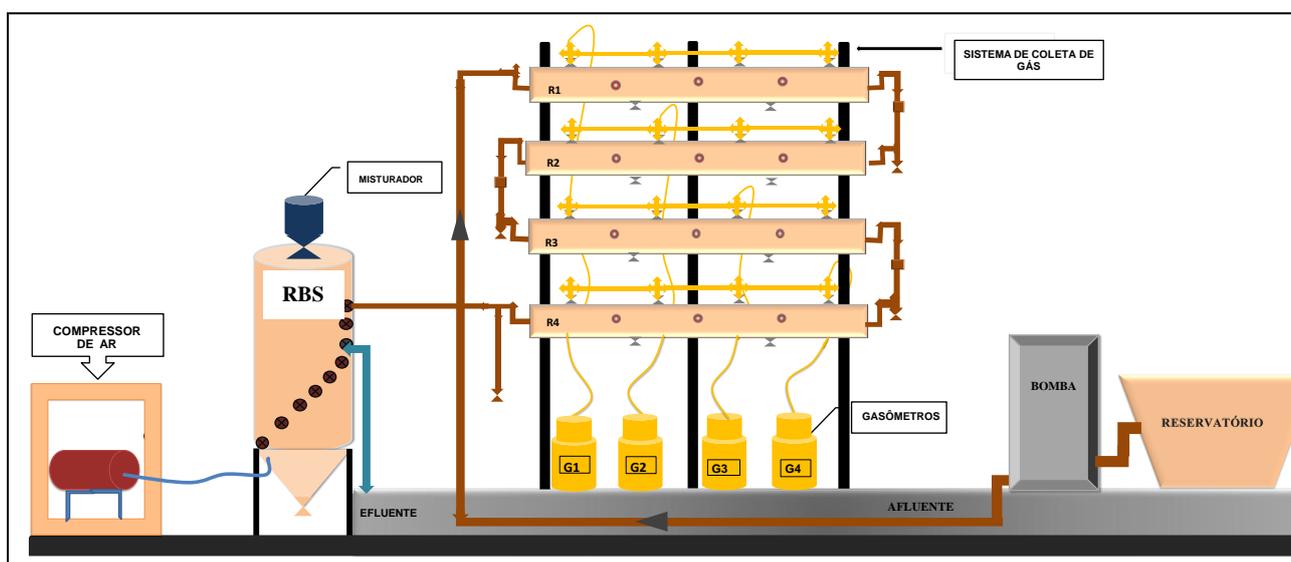


FIGURA 1. Esquema dos reatores anaeróbios horizontais com manta de lodo (R1) e de leito fixo (R2, R3 e R4), em série, seguidos de reator aeróbio operado em batelada sequencial (RBS) com alimentação contínua. **Diagram of horizontal anaerobic reactors with sludge blanket (R1) and fixed film (R2, R3 e R4), in series, followed by an aerobic sequential batch reactor (SBR) with continue feeding.**

Os anéis de bambu, os anéis plásticos e os anéis de bucha foram previamente inoculados, por meio de imersão no lodo proveniente dos reatores UASB, por um período de seis dias. Os anéis de bambu, os plásticos e os de bucha possuíam 75,0; 87,0 e 92,5% de vazios. Portanto, os volumes úteis dos reatores foram de 49,5; 37,1; 43,1 e 47,8 L, para o R1, R2, R3 e R4, respectivamente. As cargas orgânicas volumétricas (COV) foram determinadas com esses valores.

O R1 foi alimentado utilizando-se de uma bomba helicoidal, que foi instalada com o intuito de propiciar o recalque e a regularização das vazões do afluente no R1 e conseqüentemente no R2, R3, R4 e RBS, para os quais a condução foi por gravidade. Foram acopladas saídas de biogás nos reatores horizontais, e a monitorização da produção foi realizada com gasômetros de alumínio, revestidos com fibra de vidro, conforme descrito por FERNANDES & OLIVEIRA (2006).

Os tempos de detenção hidráulica (TDH) aplicados nos reatores anaeróbios horizontais R1+R2+R3+R4 foram de 42,6 e 35,4 h, nos ensaios 1 e 2, respectivamente (Tabela 1). Os TDHs aplicados no R1, R2, R3 e R4 foram de 12,0; 9,0; 10,4 e 11,1 h e de 10,0; 7,5; 8,7 e 9 h, nos ensaios

1 e 2, respectivamente. As velocidades superficiais (V_s) do líquido nos reatores anaeróbios foram calculadas dividindo-se a vazão pelo índice de vazios e área da seção transversal do reator, conforme descrito por BARBOZA (2002). No R1, R2, R3 e R4 as V_s foram de 0,23; 0,31; 0,27 e 0,25 $m\ h^{-1}$ e de 0,28; 0,37; 0,32 e 0,30 $m\ h^{-1}$, respectivamente, nos ensaios 1 e 2, respectivamente.

O reator aeróbio operado em batelada sequencial (RBS), com alimentação contínua com o efluente do R4, foi construído com tubo de PVC, com diâmetro de 400 mm e 3,39 m de altura. O volume total do RBS foi de 339 L e os volumes úteis foram de 219 L e de 239 L nos ensaios 1 e 2, respectivamente. Na base do RBS, foi instalado um difusor de ar de membrana (bolha fina), o qual foi conectado à tubulação do compressor de ar. No topo do RBS, foi fixado um conjunto de motor-reductor conectado a um eixo com pás construídas com policloreto de vinila (PVC), o qual foi ligado a temporizador analógico para a programação do tempo de mistura (Tabela 2 e Figura 2), conforme descrito por SANTANA (2008). O RBS foi operado conforme ilustrado na Figura 2.

As águas residuárias usadas como afluente foram coletadas, diariamente, em confinamento de suínos, nas fases de crescimento e terminação, com lâmina d'água para o escoamento dos dejetos, do Setor de Suinocultura da UNESP, Câmpus de Jaboticabal, e peneiradas (malha 3 mm).

TABELA 1. Condições operacionais dos reatores anaeróbios horizontais instalados em série (R1, R2, R3 e R4), seguidos do reator aeróbio em batelada sequencial (RBS) com alimentação contínua, durante os ensaios 1 e 2. **Operational conditions of anaerobic horizontal reactors in series (R1, R2, R3 and R4) followed by an aerobic sequential batch reactor (SBR) with continue feeding in trials 1 and 2.**

Reatores	TDH (h)		V_s ($m\ h^{-1}$)	
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2
R1	12,0	10,0	0,23	0,28
R2	9,0	7,5	0,31	0,37
R3	10,4	8,7	0,27	0,32
R4	11,1	9,2	0,25	0,30
RBS	53,1	48,2	-	-

TDH - tempo de detenção hidráulica; V_s - velocidade superficial.

O ciclo operacional do RBS foi de 24 h, nos ensaios 1 e 2, divididos em 9,0 h para reação anaeróbia; 8,5 h para a reação aeróbia; 6,0 h de sedimentação e 0,5 h de descarte (Tabela 2). Durante a fase de reação anaeróbia, foi acionado o misturador de pás acoplado ao conjunto motor-reductor, num gradiente de velocidade (G) de 145 e 138 s^{-1} , com rotação em torno de 55 rpm, nos ensaios 1 e 2, respectivamente. Na fase de reação aeróbia, o compressor de ar foi ligado. Foram mantidos 120 L de lodo sedimentado, descartando-se 99 e 119 L de efluente nos ensaios 1 e 2, respectivamente.

TABELA 2. Características do ciclo operacional do reator aeróbio em batelada sequencial (RBS) com alimentação contínua. **Characteristic of the operational cycle of the aerobic sequential batch reactor (ASBR) with continue feeding.**

Características	Ensaio 1	Ensaio 2
Tempo do ciclo (h)	24	24
Volume de alimentação por dia (L)	99	119
Tempo de reação anaeróbia (h)	9,0	9,0
Tempo de reação aeróbia (h)	8,5	8,5
Tempo de sedimentação (h)	6,0	6,0
Tempo de retirada do sobrenadante (h)	0,5	0,5

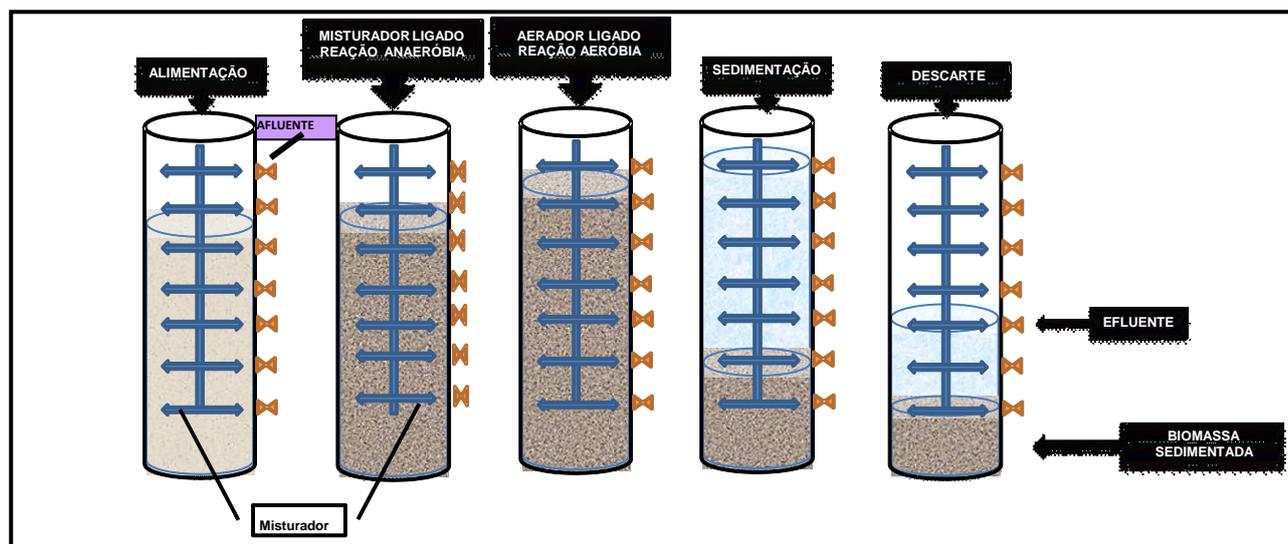


FIGURA 2. Esquema do ciclo operacional do reator aeróbio em batelada sequencial (RBS) com alimentação contínua. **Scheme of the operational cycle of the aerobic sequential batch reactor (ASBR) with continue feeding.**

A avaliação de desempenho da unidade experimental baseou-se na monitorização da água residuária de suinocultura bruta peneirada (afluente) e dos efluentes tratados nos reatores anaeróbios horizontais (R, R2, R3 e R4), em amostras compostas, e ao final do ciclo operacional do RBS, em amostras simples, com frequência de amostragem de duas vezes por semana. Os parâmetros determinados foram pH, demanda química de oxigênio total (DQO_{total}), demanda química de oxigênio dissolvida (DQO_{diss}), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV), nitrogênio amoniacal (N-am.), nitrato ($N-NO_3^-$), nitrito ($N-NO_2^-$) e oxigênio dissolvido (OD), conforme metodologias descritas por APHA, AWWA, WPCF (1998); as alcalinidades total (AT) e parcial (AP), e os ácidos voláteis totais (AVT), conforme metodologias descritas por JENKINS et al. (1983) e DILALLO & ALBERTSON (1961), respectivamente. O volume de biogás produzido foi monitorado diariamente por meio de medidas em gasômetros, como descrito por FERNANDES & OLIVEIRA (2006), e a composição do biogás foi analisada semanalmente por cromatografia gasosa, conforme descrito por APHA, AWWA, WPCF (1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios da DQO_{total} , DQO_{diss} , SST e SSV do afluente do reator anaeróbio horizontal (R1) foram de 26.327; 2.837; 18.624 e 9.048 $mg L^{-1}$ e de 25.327; 2.468; 11.395 e 5.603 $mg L^{-1}$, nos ensaios 1 e 2, respectivamente. As COVs resultantes foram de 52,69; 13,64; 5,83 e 3,34 $g DQO_{total} (L d)^{-1}$ e de 60,95; 31,18; 9,46 e 5,66 $g DQO_{total} (L d)^{-1}$ no R1, R2, R3 e R4, nos ensaios 1 e 2, respectivamente (Tabela 3).

Os limites de COV ainda não foram estabelecidos para os reatores anaeróbios horizontais (AMORIM et al., 2000); entretanto, as COVs aplicadas no R1 e R2 podem ser consideradas altas.

As maiores eficiências de remoção de DQO_{total} , SST e SSV de 76; 86 e 87% e de 56; 75 e 71% foram observadas no R1 (Tabela 4), com COV de 52,69 e 60,95 $g DQO_{total} (L d)^{-1}$, nos ensaios 1 e 2, respectivamente. As altas eficiências de remoção de DQO_{total} , SST e SSV no R1 podem ter ocorrido, na maior parte, em virtude da retenção dos sólidos suspensos, os quais foram estabilizados e parte convertidos em metano (Tabela 5).

No R2, com COV de 13,64 e 31,18 $g DQO_{total} (L d)^{-1}$, as eficiências de remoção de DQO_{total} , DQO_{diss} , SST e SSV foram similares, nos ensaios 1 e 2, com valores médios de 41; 36; 64 e 66% e 53; 30; 73 e 72%, respectivamente. Portanto, no R2, a remoção foi mantida mesmo com o

decréscimo de eficiência no R1, no ensaio 2, confirmando a afirmação de AMORIM et al. (2000), de que os reatores anaeróbios com meio suporte são mais resistentes a altas variações da COV.

As eficiências médias de remoção de DQO_{total} , DQO_{diss} , SST e SSV no sistema de tratamento anaeróbio composto pelos reatores horizontais R1, R2, R3 e R4 foram de 96; 84; 99 e 97% e de 96; 84; 95 e 96% nos ensaios 1 e 2, respectivamente. Assim, verificou-se que a utilização de reator anaeróbio horizontal com manta de lodo, seguido de reatores horizontais com meio suporte de anéis de bambu, plástico e de bucha foram capazes de acomodar altas COVs mantendo remoções de matéria orgânica elevadas (Tabela 4).

TABELA 3. Valores médios e coeficientes de variação (C.V.) da carga orgânica volumétrica, das demandas químicas de oxigênio total (DQO_{total}) e dissolvida (DQO_{diss}) e dos sólidos suspensos totais (SST) e voláteis (SSV), obtidos durante a operação do sistema de tratamento anaeróbio com os reatores horizontais instalados em série (R1, R2, R3 e R4), seguidos de reator aeróbio operado em batelada sequencial com alimentação contínua, nos ensaios 1 e 2. **Average values and variation coefficients (V. C.) of the volumetric organic loading (VOL) and of the total and dissolved chemical oxygen demand (totalCOD and dissCOD), total and volatile suspended solids (TSS and VSS) during the operation of anaerobic horizontal reactors in series (R1, R2, R3 and R4) followed by an aerobic sequential batch reactor (SBR) with continue feeding in trials 1 and 2.**

Parâmetros	COV ($gDQO_{total}$ ($L\ d^{-1}$) ⁻¹)	C.V. (%)	DQO_{total} ($mg\ L^{-1}$)	C.V. (%)	DQO_{diss} ($mg\ L^{-1}$)	C.V. (%)	SST ($mg\ L^{-1}$)	C.V. (%)	SSV ($mg\ L^{-1}$)	C.V. (%)
Ensaio 1	Afluente	-	26.327	58	2.837	84	18.624	70	9.048	77
	R1	52,69	5.115	93	2.388	48	1.816	156	1.060	146
	R2	13,64	2.528	52	1.586	53	350	93	239	103
	R3	5,83	1.557	53	1.232	53	229	57	168	50
	R4	3,34	741	76	462	109	183	79	123	83
	RBS	0,34	159	63	113	57	57	48	39	51
Ensaio 2	Afluente	-	25.397	55	2.468	19	11.395	84	5.603	85
	R1	60,95	9.745	72	2.515	21	3.191	139	1.724	136
	R2	31,18	3.435	33	1.875	30	880	23	548	44
	R3	9,46	2.194	45	1.096	48	482	62	303	91
	R4	5,66	995	43	424	54	244	47	145	57
	RBS	0,50	307	40	211	51	76	71	69	115

As eficiências de remoção foram superiores às observadas por URBINATI & OLIVEIRA (2008), de 88 e 84% para a DQO_{total} , em dois reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB), em série, tratando águas residuárias de suinocultura com características semelhantes às deste trabalho, e aplicando altas COVs, de 21 e 40 $g\ DQO_{total}\ (L\ d)^{-1}$.

FERNANDES & OLIVEIRA (2006) e ABREU NETO & OLIVEIRA (2009) utilizaram reator anaeróbio compartimentado (ABR) com 3 câmaras, seguido de reator UASB para o tratamento de águas residuárias de suinocultura com DQO_{total} de 7.557 a 28.770 $mg\ L^{-1}$ e SST de 4.591 a 13.001 $mg\ L^{-1}$, aplicando COV de 5 a 18 $g\ DQO_{total}\ (L\ d)^{-1}$ com TDH de 18 a 60 h no ABR, e obtiveram eficiências de remoção de 87 a 95% para DQO_{total} e de 84 a 96% para SST. Considerando-se que as características das águas residuárias foram similares, assim como alguns TDHs e COVs, observa-se que, com os quatro reatores anaeróbios horizontais, em série, foi possível obter remoções de DQO_{total} e SST semelhantes aos valores máximos obtidos por FERNANDES & OLIVEIRA (2006) e ABREU NETO & OLIVEIRA (2009).

Dessa forma, os reatores anaeróbios horizontais também podem ser considerados como alternativas de baixo custo para o tratamento de águas residuárias de suinocultura com altas eficiências, mesmo com altas cargas orgânicas, tendo, entre outras, a vantagem de menor

complexidade estrutural na construção, a qual pode torná-lo preferencial para instalação, principalmente em criações de suínos de médio e pequeno portes.

As maiores remoções de DQO_{total} , SST e SSV ocorreram no R1, em virtude das menores velocidades superficiais do líquido (V_s), de 0,23 e 0,28 $m\ h^{-1}$, nos ensaios 1 e 2, respectivamente, e das maiores quantidades de matéria orgânica suspensa do afluente. Para a $DQO_{diss.}$, as remoções aumentaram ao longo do conjunto de reatores anaeróbios horizontais, atingindo valores máximos de 71 e 65% no R4, nos ensaios 1 e 2, respectivamente. Isto pode ser atribuído ao aumento da V_s no R2, R3 e R4 e, principalmente, à biomassa imobilizada nos leitos, formando biofilme, onde a remoção das frações dissolvidas é facilitada, além da ocorrência, no último reator (R4), de microrganismos mais bem adaptados à degradação da matéria orgânica dissolvida, resistente à decomposição, que passou pelo R1, R2 e R3. Os resultados foram altas remoções de $DQO_{diss.}$ (84%) no conjunto dos reatores anaeróbios horizontais (R1+R2+R3+R4).

No efluente do RBS, foram observados valores médios de 159; 113; 57 e 39 $mg\ L^{-1}$ e de 307; 211; 76 e 69 $mg\ L^{-1}$ de DQO_{total} , $DQO_{diss.}$, SST e SSV, nos ensaios 1 e 2, respectivamente. As eficiências médias de remoção de DQO_{total} , $DQO_{diss.}$, SST e SSV variaram de 62 a 72% e de 59 a 68%, nos ensaios 1 e 2, respectivamente. A inclusão do RBS para o pós-tratamento do efluente dos reatores anaeróbios horizontais contribuiu para o aumento nos valores médios das eficiências de remoção de DQO_{total} , $DQO_{diss.}$, SST e SSV para 99; 94; 99 e 99% e para 98; 90; 99 e 98 % nos ensaios 1 e 2, respectivamente, e para melhorar a estabilidade do sistema de tratamento, como pode ser observado pelos baixos coeficientes de variação, de 1 a 9% (Tabela 4).

TABELA 4. Valores médios e coeficientes de variação (C.V.) das eficiências de remoção das demandas químicas de oxigênio total (DQO_{total}) e dissolvida ($DQO_{diss.}$), e dos sólidos suspensos totais (SST) e voláteis (SSV) obtidos durante a operação do sistema de tratamento anaeróbio com os reatores horizontais instalados em série (R1, R2, R3 e R4) seguidos do reator aeróbio operado em batelada sequencial (RBS) com alimentação contínua, nos ensaios 1 e 2. **Average values and variation coefficients (V.C.) of the removal efficiencies of total and dissolved chemical oxygen demands (totalCOD and dissCOD), total and volatile suspended solids (TSS and VSS) during the operation of anaerobic horizontal reactors in series (R1, R2, R3 and R4) followed by an aerobic sequential batch reactor (SBR) with continue feeding in trials 1 and 2.**

Parâmetros	Eficiência de Remoção (%)								
	DQO_{total}	C.V.	DQO_{diss}	C.V.	SST	C.V.	SSV	C.V.	
Ensaio 1	R1	76	33	*26	71	86	30	87	21
	R2	41	42	*36	62	64	29	66	32
	R3	*45	29	*35	67	43	41	*37	66
	R4	54	36	*71	23	*37	63	42	56
	RBS	72	24	62	47	62	32	64	29
	R1+R2+R3+R4	96	6	*84	15	99	4	97	4
	Sistema	99	1	94	7	99	1	99	2
Ensaio 2	R1	56	57	*15	53	75	27	71	35
	R2	53	61	*30	35	*73	43	*72	47
	R3	37	40	40	60	52	49	*64	38
	R4	55	21	65	26	*52	24	*57	24
	RBS	65	21	59	27	68	21	65	39
	R1+R2+R3+R4	96	3	84	10	95	7	96	4
	Sistema	98	1	90	9	99	2	98	2

Sistema (R1+R2+R3+R4+RBS); *Foram utilizados somente os valores positivos de eficiência de remoção.

As percentagens de metano observadas no biogás foram de 44; 67; 76 e 57% e de 58; 73; 77 e 77% nos reatores R1, R2, R3 e R4, nos ensaios 1 e 2, respectivamente (Tabela 5). As menores percentagens de metano foram observadas no R1, o que pode ter ocorrido em virtude das altas COVs aplicadas e, conseqüentemente, da geração de ácidos voláteis em grande quantidade, mantendo o pH com valores próximos a 6,3 (Tabela 6). As arqueias metanogênicas têm crescimento ótimo na faixa de pH entre 6,6 a 7,4, embora seja possível obter estabilidade na formação de metano numa faixa mais ampla, entre 6,0 e 8,0 (CHERNICARO, 2007).

As produções volumétricas de metano foram de 0,179; 0,334; 0,314 e 0,084 $\text{m}^3 \text{CH}_4 (\text{m}^3 \text{d})^{-1}$ e 0,175; 0,694; 0,744 e 0,527 $\text{m}^3 \text{CH}_4 (\text{m}^3 \text{d})^{-1}$ nos reatores R1, R2, R3 e R4, nos ensaios 1 e 2, respectivamente (Tabela 5). No ensaio 1, os valores de produção de biogás no R2, R3 e R4 referem-se a medições a partir do 24º dia, em virtude da dificuldade que houve para obtê-los durante a partida dos reatores anaeróbios horizontais.

Assim, na Figura 3, foram apresentadas somente as produções volumétricas de metano no ensaio 2. As maiores produções de metano (Tabela 5 e Figura 3) ocorreram nos reatores com biomassa imobilizada nos leitos fixos (R2, R3 e R4), em virtude da maior capacidade de acúmulo de lodo ativo (nos interstícios e como biofilme) e da diminuição da COV, provocando aumento da alcalinidade total e do pH, e diminuição dos AVTs, que propiciaram melhores condições para o estabelecimento de arqueias metanogênicas e crescimento equilibrado com as bactérias acidogênicas.

TABELA 5. Valores médios e coeficientes de variação (C.V.) do percentual de metano no biogás, da produção diária de biogás, e da produção volumétrica de metano durante a operação dos reatores anaeróbios horizontais instalados em série (R1, R2, R3 e R4), nos ensaios 1 e 2. **Average values and variation coefficients (V.C.) of the methane percentage in biogas, daily production of biogas, and volumetric productions of methane during the operation of anaerobic horizontal reactors in series (R1, R2, R3 and R4) in trials 1 and 2.**

Parâmetros	CH ₄ (%)	C.V. (%)	Produção Diária Biogás (m ³ d ⁻¹)	C.V. (%)	Produção Volumétrica de CH ₄ (m ³ CH ₄ (m ³ reator d ⁻¹))	C.V. (%)	
Ensaio 1	R1	44	27	0,019	69	0,179	75
	R2	67	5	0,018	108	0,334	110
	R3	76	4	0,018	105	0,314	104
	R4	57	31	0,005	220	0,084	224
	R1+R2+R3+R4	-	-	0,059	90	0,218	101
Ensaio 2	R1	58	16	0,016	41	0,175	35
	R2	73	8	0,030	32	0,694	31
	R3	77	5	0,042	18	0,744	17
	R4	77	5	0,031	42	0,527	42
	R1+R2+R3+R4	-	-	0,124	21	0,516	21

No ensaio 2, mesmo com a diminuição do TDH e aumento da COV para valor médio de 60,95 g DQO_{total} (L d)⁻¹, foi possível estabelecer o processo anaeróbio estável com altas remoções de matéria orgânica e conversão a metano, refletidos nos baixos coeficientes de variação da eficiência de remoção de DQO_{total}, de 3%, e da produção volumétrica de metano, de 21%, para o conjunto R1+R2+R3+R4. A partida com formação de biofilme no leito fixo ocorreu no ensaio 1, o que propiciou no ensaio 2 a acomodação mais rápida e com estabilidade dos aumentos de COV e Vs sem prejuízos para a remoção de matéria orgânica e produção de metano.

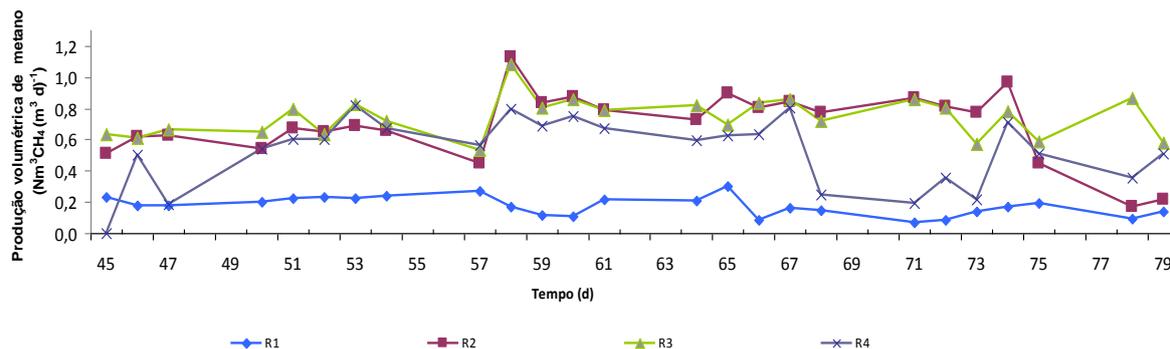


FIGURA 3. Produção volumétrica de metano nos reatores anaeróbios horizontais instalados em série (R1, R2, R3 e R4), no ensaio 2. **Volumetric production of methane during the operation of anaerobic horizontal reactors in series (R1, R2, R3 and R4) in trial 2.**

Os valores médios de pH no afluente foram de 5,6 e 5,9, nos ensaios 1 e 2, respectivamente. Nos efluentes dos reatores R1, R2, R3 e R4, os valores de pH aumentaram de 6,3 para 6,7; 7,1; 7,2 e de 6,4 para 6,8; 7,1 e 7,2 nos ensaios 1 e 2, respectivamente, indicando que houve geração de alcalinidade e consumo de ácidos voláteis de forma equilibrada (Tabela 6). O pH do efluente do RBS diminuiu para 6,7 e 6,5; nos ensaios 1 e 2, respectivamente, em virtude do consumo de alcalinidade de bicarbonato (alcalinidade parcial – AP, na Tabela 6) para a nitrificação. É necessário pH acima de 6,5 para a nitrificação nos reatores aeróbios (METCALF & EDDY, 2003), como ocorreu no RBS (Tabela 7 e Figura 7).

TABELA 6. Valores médios e coeficientes de variação (C.V.) do pH, alcalinidade parcial (AP), alcalinidade total (AT), relação entre as alcalinidades intermediária e parcial (AI/AP), ácidos voláteis totais (AVT) e nitrogênio amoniacal (N-am.) no afluente e efluentes dos reatores anaeróbios horizontais instalados em série (R1, R2, R3 e R4) seguidos de reator aeróbio operado em batelada sequencial (RBS) com alimentação contínua, nos ensaios 1 e 2. **Average values and variation coefficients (VC%) of pH, total alkalinity (TA), partial alkalinity (PA), relation between intermediary and partial alkalinities (IA/PA), total volatile acids (TVA) and amoniacal nitrogen (am-N) in the influent and effluents of the anaerobic horizontal reactors in series (R1, R2, R3 and R4) followed by an aerobic sequential batch reactor (SBR) with continue feeding in trials 1 and 2.**

Parâmetros	pH	C.V. (%)	A.P. (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	C.V. (%)	A.T. (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	C.V. (%)	AI/AP (%)	C.V. (%)	AVT (mg L ⁻¹ CH ₃ COOH)	C.V. (%)	N-am. (mg L ⁻¹)	C.V. (%)	
Afluente	5,6	4	10	163	841	62	-	-	946	39	135	79	
Ensaio 1	R1	6,3	6	161	58	708	47	3,9	63	977	35	132	88
	R2	6,7	2	316	39	803	44	1,6	42	768	41	168	79
	R3	7,1	3	513	54	957	52	0,9	54	497	51	184	76
	R4	7,2	3	698	56	1047	50	0,6	73	267	75	172	84
	RBS	6,7	4	151	79	233	82	0,5	30	200	123	61	90
Ensaio 2	Afluente	5,9	5	110	115	901	44	-	-	861	20	252	28
	R1	6,4	4	208	57	909	33	4,1	52	947	22	262	20
	R2	6,8	2	486	31	1026	23	1,2	49	661	29	300	20
	R3	7,1	2	641	31	1099	22	0,9	121	472	40	312	25
	R4	7,2	1	952	22	1403	23	0,5	37	262	32	305	37
RBS	6,5	7	149	40	236	40	0,6	26	170	30	170	60	

A alcalinidade total (AT) nos efluentes dos reatores anaeróbios horizontais R1, R2, R3 e R4 teve valores médios crescentes de 708; 803; 957 e 1.047 mg L⁻¹ e de 909, 1.026, 1.099 e 1.403 mg L⁻¹, nos ensaios 1 e 2, respectivamente. Os maiores valores de AT, nos efluentes dos reatores R2, R3 e R4 do que nos seus afluentes (Tabela 6), indicam que houve incremento de alcalinidade, proporcionando maior capacidade tampão aos reatores. O aumento da alcalinidade total (AT) ocorreu em virtude do acréscimo na concentração de bicarbonato, como pode ser observado por meio dos aumentos dos valores médios da alcalinidade parcial (AP) nos efluentes do R1 para o R4, de 161 para 698 mg L⁻¹ e de 208 para 952 mg L⁻¹ (Tabela 6 e Figura 4). No R1, em virtude das altas COVs aplicadas, ocorreu consumo de AT, nos ensaios 1 e 2. A alcalinidade intermediária (AI), proporcionada pelos ácidos graxos voláteis, obtida pela diferença entre AT e AP, diminuiu de 831 para 349 mg L⁻¹ e de 791 para 451 mg L⁻¹ do afluente do R1 para o efluente do R4, indicando o consumo desses ácidos, principalmente após o R1 (Tabela 6 e Figura 5).

As relações AI/AP foram, em média, de 3,9 e 4,1 no R1; 1,6 e 1,2 no R2; 0,9 no R3, e de 0,6 e 0,5 no R4, nos ensaios 1 e 2, respectivamente. Os valores foram superiores a 0,3, limite recomendado por RIPLEY et al. (1986) para que não ocorram distúrbios no processo de digestão anaeróbia. Mas, segundo FORESTI (1994), é possível ocorrer estabilidade no processo de digestão anaeróbia com valores diferentes de 0,3, sendo prudente a verificação para cada caso em particular, conforme foi observado por FERNANDES & OLIVEIRA (2006), SANTANA & OLIVEIRA (2005) e SANTANA (2008). No conjunto dos reatores anaeróbios horizontais (R1+ R2+R3+R4), as eficiências de remoção e a produção de metano foram estáveis, com C.V. menor do que 20%, indicando que as relações AI/AP no efluente do R4 (0,5 e 0,6) podem ser consideradas representativas de operação sem distúrbios.

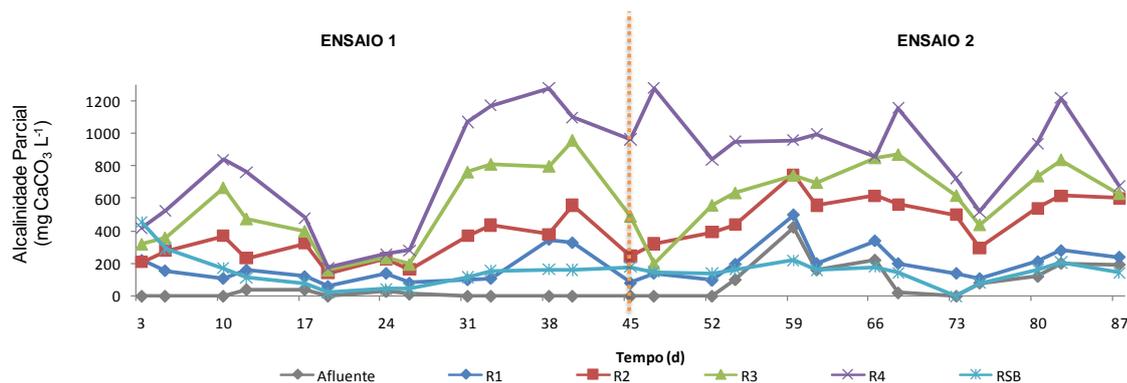


FIGURA 4. Alcalinidade parcial (AP) no afluente e efluentes dos reatores anaeróbios horizontais instalados em série, seguidos de reator aeróbio operado em batelada seqüencial (RBS) com alimentação contínua durante os ensaios 1 e 2. **Partial alkalinity (PA) in the influent and effluents of the anaerobic horizontal reactors in series (R1, R2, R3 and R4) followed by an aerobic sequential aerobic batch reactor (SBR) with continue feeding in trials 1 and 2.**

No efluente do RBS, foram observados valores de AT inferiores aos do efluente do R4 (233 e 236 mg L⁻¹ nos ensaios 1 e 2, respectivamente). O consumo de AT no RBS ocorreu em virtude da oxidação de N-am. A alcalinidade necessária para oxidar 1 g de N-am. a nitrito é de 7,07 g de CaCO₃ (METCALF & EDDY, 2003). No ensaio 1, foram removidas 111 mg L⁻¹ de N-am., o que correspondeu à demanda de 785 mg L⁻¹ de CaCO₃, e a AT foi reduzida em 814 mg L⁻¹, utilizadas, principalmente, para a nitrificação. O mesmo ocorreu no ensaio 2, sendo removidas 135 mg L⁻¹ de N-am, correspondendo ao consumo de 955 mg L⁻¹ de CaCO₃, e a AT foi reduzida em 1.167 mg L⁻¹.

As concentrações médias de ácidos voláteis totais (AVT) foram decrescentes após o R1, com valores de 946; 977; 768; 497; 267 e 200 mg L⁻¹ e de 861; 947; 661; 472; 262 e 170 mg L⁻¹ no afluente e efluentes do R1, R2, R3, R4 e RBS, nos ensaios 1 e 2, respectivamente (Tabela 6 e Figura

5). Os valores de AVT no R1 e R2 foram superiores aos recomendados por GERARDI (2003), de 50 a 500 mg L⁻¹, para que exista estabilidade no processo anaeróbio. As altas COVs aplicadas no R1 e R2, nos ensaios 1 e 2, provocaram a predominância da acidogênese no R1, como pode ser confirmado pela menor concentração e produção de metano (Tabela 5).

Como resultado da amonificação, os valores médios da concentração de nitrogênio amoniacal (N-am.) aumentaram, de 135 e 252 mg L⁻¹ no afluente, para 172 e 305 mg L⁻¹ no efluente do R4, nos ensaios 1 e 2, respectivamente (Tabela 6). A conversão, por meio da ação de bactérias heterotróficas, da matéria orgânica nitrogenada, que se encontrava na forma solúvel, em amônia (MASCARENHAS et al., 2004), ocorreu mesmo com as altas COVs aplicadas nos reatores anaeróbios horizontais.

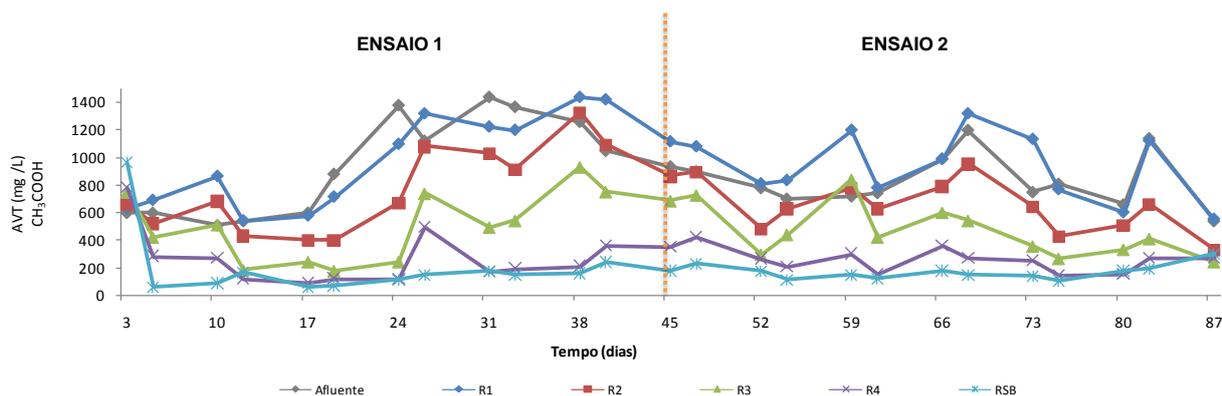


FIGURA 5. Concentração de ácidos voláteis totais (AVT) no afluente e efluentes dos reatores anaeróbios horizontais instalados em série (R1, R2, R3 e R4) seguidos de reator aeróbio operado em batelada sequencial (RBS) com alimentação contínua, durante os ensaios 1 e 2. **Concentrations of total volatile acids (TVA) in the influent and effluents of anaerobic horizontal reactors in series (R1, R2, R3 and R4) followed by an aerobic sequential batch reactor (SBR) with continue feeding in trials 1 and 2.**

As concentrações médias de N-am. no efluente do RBS, de 61 e 170 mg L⁻¹, nos ensaios 1 e 2, respectivamente, foram inferiores às do efluente do R4. As eficiências médias de remoção de N-am., de 65 e 44%, nos ensaios 1 e 2, respectivamente, foram em virtude da nitrificação, que ocorreu com maior estabilidade (CV de 3% para a concentração de nitrato) e predominância de nitrato no ensaio 2 (Tabela 7). Isto foi propiciado pela maior disponibilidade de alcalinidade (Tabela 6 e Figura 4) e pela adaptação do lodo do RBS a partir dos 24 dias do ensaio 1.

Os valores médios das concentrações de nitrito, nitrato e oxigênio dissolvido no efluente do RBS foram de 29; 27 e 2,0 mg L⁻¹ e de 25; 49 e 2,0 mg L⁻¹, nos ensaios 1 e 2, respectivamente (Tabela 7). Para oxidar 172 e 305 mg L⁻¹ de N-am. provenientes do R4 no RBS, nos ensaios 1 e 2, respectivamente, seriam necessários 1.216 e 2.156 mg L⁻¹ de CaCO₃. Portanto, a AT disponível no efluente do R4 não foi suficiente para a oxidação de todo o N-am.

Considerando-se que foram oxidados 111 e 135 mg L⁻¹ de N-am., e que no efluente do RBS havia 56 e 74 mg L⁻¹ de N-nítrico, pode-se admitir que a diferença foi removida pela desnitrificação, ou seja, 50 e 55%, nos ensaios 1 e 2, respectivamente.

TABELA 7. Valores médios e coeficientes de variação (C.V.) da temperatura média diária e das concentrações de nitrito (N-NO₂⁻), nitrato (N-NO₃⁻), oxigênio dissolvido (OD), e nitrogênio amoniacal (N-am.) no efluente do reator aeróbio em batelada sequencial (RBS), nos ensaios 1 e 2. **Average values and variation coefficients (VC) of daily temperature and concentrations of nitrite (NO₂⁻-N), nitrate (NO₃⁻-N), dissolved oxygen (DO) and amoniacal nitrogen (am-N) in the effluent of the aerobic sequential batch reactor (ASBR) in trials 1 and 2.**

Ensaio	N-NO ₂ ⁻	C.V.	N-NO ₃ ⁻	C.V.	O.D	C.V.	Temp.	C.V.	N-am.	C.V.
	(mg L ⁻¹)	(%)	(mg L ⁻¹)	(%)	(mg L ⁻¹)	(%)	(°C)	(%)	(mg L ⁻¹)	(%)
1	29	65	27	71	2,0	45	25	10	61	90
2	25	61	49	3	2,0	41	26	8	170	60

CONCLUSÕES

Com o sistema de tratamento anaeróbio com reatores horizontais em série, com manta de lodo e leito fixo com anéis de bambu, plástico (eletroduto corrugado) e bucha (*Luffa cyllynrica*), foi possível obter, com estabilidade, altas eficiências de remoção de DQO_{total} e sólidos suspensos, acima de 96%, e produções volumétricas de metano de 0,218 e 0,516 m³ CH₄ (m³ reator d)⁻¹, com COV de 53 e 61 g DQO (L d)⁻¹.

A inclusão do reator aeróbio operado em batelada sequencial (RBS), com alimentação contínua, para o pós-tratamento dos efluentes dos reatores anaeróbios horizontais, permitiu obter melhor estabilidade e eficiências de remoção de DQO_{total} e sólidos suspensos acima de 98%, além da remoção de N-am. para valores médios inferiores a 170 mg L⁻¹, por meio da nitrificação e da desnitrificação.

Portanto, é possível tratar águas residuárias de suinocultura com concentrações elevadas de matéria orgânica particulada e captar grandes quantidades de metano em reatores anaeróbios horizontais submetidos a baixos tempos de detenção hidráulica. E também, quando necessário, realizar o polimento do efluente anaeróbio em RBS, com alimentação contínua, obtendo acréscimos nas remoções de DQO, sólidos suspensos e N, as quais serão ainda melhoradas, se for feita a recirculação do efluente nitrificado para os reatores anaeróbios, visando, principalmente, a diminuir a concentração final de N.

REFERÊNCIAS

- APHA, AWWA, WPCF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18th ed. Washington, 1998. 1.364 p.
- ABREU NETO, M.S. de; OLIVEIRA, R.A. de. Remoção de matéria orgânica, de nutrientes e de coliformes no processo anaeróbio em dois estágios (reator compartimentado seguido de reator UASB) para o tratamento de águas residuárias de suinocultura. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.29, n.1, p.148-161, 2009.
- AMORIM, A.; BARBOZA, K.; ZAIAT, M.; FORESTI, E. Avaliação do desempenho e estabilidade de um reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) submetido ao aumento progressivo na concentração de matéria orgânica afluyente e a cargas de choque orgânicas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE FERMENTAÇÕES, 13., 2000, Teresópolis. *Anais...* Teresópolis: Sinaferm, 2000. 1 CD-ROM.
- BARBOZA, M.G. *Efeitos da temperatura e da velocidade superficial em sistema anaeróbio de duas fases tratando esgoto sanitário sintético em reatores horizontais com células imobilizadas*. 2002. 162 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2002.

- BENIS, S.G.; BORJA, R.; MONEMIAN, S.; GOODARZI, V. Anaerobic treatment of synthetic medium-strength wastewater using a multistage biofilm reactor. *Bioresource Technology*, Barking, v.100, n.5, p.1.741-1.745, 2009.
- CAMPOS, C.M.M.; DAMASCENO, L.H.S.; MOCHIZUKI, E.T.; BOTELHO, C.G. Avaliação do desempenho do reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) em escala laboratorial na remoção de carga orgânica de águas residuárias da suinocultura. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.29, n.2, p.330-339, 2005.
- CHERNICHARO, C.A. de L. *Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. 2.ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2007. 359 p.
- DILALLO, R.; ALBERTSON, O.E. Volatile acids by direct titration. *Journal Water Pollution Control Federation*, Alexandria, v.33, n.4, p.356-365, 1961.
- FERNANDES, G.F.R.; OLIVEIRA, R.A. de. 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, 2006.
- FORESTI, E. Fundamentos do processo de digestão anaeróbia. In: TALLER Y SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA, 3., 1994, Montevideo. *Memorias...* Montevideo: ICA, 1994. p.96-109.
- GERARDI, M.H. *The microbiology of anaerobic digesters*. Chichester: John Wiley and Sons, 2003. 165 p.
- 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.
- METCALF & EDDY. *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*. New York: McGraw-Hill, 2003. 1.819 p.
- MASCARENHAS, L.C; VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C.A. de L. Avaliação de lagoas de polimento rasa, em série, para o pós-tratamento de efluentes de reator UASB. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v.9, n.1, p.45-54, 2004.
- RAMIREZ, P.O.; ANTUNES, R.M.; QUADRO, M., KOETZ, P. Remoção da DQO e nitrificação em reator biológico aerado no pós-tratamento de águas residuárias de suinocultura. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v.9, n.3, p.279-286, 2003.
- 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.
- SANTANA, A.M. de. *Avaliação de sistema composto por reatores anaeróbios e aeróbio para tratamento de águas residuárias de suinocultura*. 2008. 284 f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agropecuária) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2008.
- 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, 2005.
- SANTANA, A.M. de; OLIVEIRA, R.A. de. Pós-tratamento em reator em batelada sequencial aeróbio de águas residuárias de suinocultura tratada em reatores UASB. In: TALLER Y SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA, 9., 2008, Isla de Pascua. *Proceedings...* Isla de Pascua: International Water Association, 2008. p. 884-888.

- SILVA, J.L.; CEZAR, V.R.S.; BARBOZA, M.G. Avaliação preliminar da tratabilidade da manipeira através do reator anaeróbio horizontal com chicanas - RAHC. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 13., 2008, Belém. *Anais...* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2008. 1 CD-ROM.
- URBINATI, E.; OLIVEIRA, R.A. de. Efeito das cargas hidráulica e orgânica volumétrica no desempenho de reatores UASB em dois estágios no tratamento de águas residuárias de suinocultura. In: TALLER Y SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA, 9., 2008, Isla de Pascua. *Proceedings...* Isla de Pascua: International Water Association, 2008. p.952-956.
- YANG, P.Y.; WANG, Z. Integrating an intermittent aerator in a swine wastewater treatment system for land-limited conditions, *Bioresource Technology*, Barking, v.69, p.191-198, 1999.
- ZAIAT, M.; CABRAL, A.K.A.; FORESTI, E. Reator anaeróbio horizontal de leito fixo para tratamento de águas residuárias: concepção e avaliação preliminar de desempenho. *Revista Brasileira de Engenharia - Caderno de Engenharia Química*, São Carlos, v.11, n.2, p.33-42, 1994.
- ZHANG, Z.; ZHU, J.; KING, J.; LI, W. A two-step fed SBR for treating swine manure. *Process Biochemistry*, London, v.41, n.4, p.892-900, 2006.