

Tratamento e Disposição Final de Resíduos

ESTABILIZAÇÃO DE LODOS DE ESGOTO UTILIZANDO REATORES ANAERÓBIOS SEQÜENCIAIS (SISTEMA RAS)

Durval Rodrigues de Paula Junior

Professor Associado da Faculdade de Engenharia
Agrícola FEAGRI/Unicamp.
durval@agr.unicamp.br

Luciana de Mattos Moraes

Zootecnista, MSc e doutoranda em engenharia agrícola
– FEAGRI/Unicamp.

Sandra Aparecida Rozon de Camargo

Engenheira sanitária, MSc engenharia civil FEC/
Unicamp.

Edson Aparecido Abul Nour

Professor Assistente Doutor da Faculdade de
Engenharia Civil FEC/Unicamp.

Denis Miguel Roston

Professor Assistente Doutor da Faculdade de
Engenharia Agrícola FEAGRI/Unicamp.

RESUMO

A disposição final adequada do lodo é uma etapa problemática no processo operacional de uma estação de tratamento de esgotos e que, normalmente, tem sido negligenciada. Visando ao desenvolvimento de tecnologia simplificada para a estabilização de lodos gerados em Estações de Tratamento de Esgotos sanitários (ETE), este trabalho propôs a implantação e avaliação de um sistema constituído de reatores anaeróbios seqüenciais (RAS) para a estabilização de lodos originários de decantadores primários e secundários da ETE-Carioba (filtros biológicos), da cidade de Americana-SP. Os principais objetivos deste trabalho consistiram em realizar estudo comparativo da estabilização de lodos, utilizando sistema RAS e digestor anaeróbio convencional de câmara única, determinar parâmetros de projeto e otimizar procedimentos operacionais dos sistemas estudados. Os sistemas foram avaliados pelo monitoramento semanal de parâmetros físico-químicos (sólidos totais, voláteis e fixos, pH, ácidos voláteis, alcalinidade total e parcial) de amostras do afluente, efluente e pontos intermediários dos sistemas, operando com Tempos de Detenção Hidráulica (TDH) de 30, 20 e 10 dias, totalizando 450 dias de operação. As maiores remoções de ST foram obtidas no sistema A (96, 97 e 80% nos TDHs de 30, 20 e 10 dias, respectivamente); porém, pela ausência de mecanismos mecânicos de mistura, o efeito da sedimentação de sólidos precisa ser considerado, impedindo, assim, uma comparação direta com os demais sistemas. Nos sistemas B e C, essas remoções foram de 66, 41 e 28% e 32, 33 e 35%, respectivamente. Os resultados indicaram que tanto no TDH de 30, como no de 20 dias, o Sistema B apresentou eficiência de remoção de ST superior ao Sistema C, e que no TDH de 10 dias essas eficiências se aproximaram, mantendo-se em torno de 30%.

ABSTRACT

The final adequate disposal of sludge is a problematic stage in the operational process of a sewage treatment plant and that, normally, has been neglected. Seeking the technology development simplified for research in the direction to optimize of sludge from Sewage Treatment Plant, this work propose installation and evaluation of a Sequential Anaerobic Reactor System (RAS) treating sludge from primary and secondary sedimentation tanks of Sewage Treatment Plant – Carioba (biologic filters), located in the city of American – SP. The main objectives of this work consisted in accomplishing comparative studies of the sludge stabilization using continuous flow sequential anaerobic reactors and conventional anaerobic digester, to determine design parameters and optimizing operational procedures of the studied system. The system were evaluated by weekly monitoring of physical-chemical parameters (total solids, volatile solids, fixed solids, pH, volatile fatty acids, partial alkalinity and total alkalinity of the samples from influent, effluent and intermediary points of system, during an operation with 30, 20 and 10 days Hydraulic Retention time (HRT), totaling 450 days operations. The total solids removal better rate were obtained in System A (96, 97 and 80% in the hydraulic retention times 30, 20 and 10 days, respective) however, goes the absence of mechanical mechanisms of mixture, the effect of solids sedimentation needs to be considered, impeding the direct comparison with the other systems. In systems B and C, these removal were 66, 41 and 28% and 32, 33 and 35%, respectively. The results indicated that in HRT 30 and 20 days, the System B total presented solids removal better efficiency to System C, and that HRT 10 days these efficiency approached, staying in lathe of 30%.

INTRODUÇÃO

O saneamento é, sem dúvida, uma das mais importantes ferramentas socioeconômicas para ações preventivas eficientes, na relação custo-benefício, ligadas aos problemas de saúde pública e de preservação dos recursos naturais. Os dados referentes ao esgoto sanitário no Brasil são alarmantes, indicando índices de cobertura da população, por rede coletora, de apenas 30% e um percentual de comunidades que possuem tratamento inferior a 10% (CHERNICHARO, 1997). Isso demonstra que volumes exorbitantes de esgoto bruto são lançados diariamente em cursos d'água, causando, obviamente, graves problemas sanitários e ambientais. A necessária e premente ampliação da quantidade de esgotos tratados gerará um grande e inevitável crescimento da produção de lodo no Brasil. Embora exista uma tendência à aplicação de tecnologias que reflitam em uma menor produção de lodo, não se pode descartar o emprego dos sistemas ditos convencionais que sabidamente geram quantidades apreciáveis de lodos. A geração de grandes volumes de lodo e seu processamento e disposição talvez seja o problema mais complexo com o qual a engenharia sanitária se depara.

Todo tratamento convencional de esgoto gera como subproduto o lodo formado nos decantadores primários e secundários, o qual deve sofrer um tratamento adicional, já que, na maioria das vezes, não está totalmente estabilizado. Nesses sistemas, o lodo é geralmente tratado em reatores anaeróbios de câmara única que, com altos tempos de detenção hidráulica, promovem a estabilização e redução de massa, o que, usualmente, tornam essas unidades as maiores de toda a estação de tratamento, onerando, sobremaneira,

os custos de implantação e operação das estações de tratamento de esgotos.

Durante os últimos 20 anos, verificou-se uma verdadeira revolução nos conceitos concernentes ao tratamento de águas residuárias. Nesse período, além de ocorrer ampliação e valorização da aplicabilidade do processo anaeróbio, houve também aumento significativo do número de alternativas para a concepção física das unidades à conversão biológica. A consciência atual coloca em destaque a multidisciplinaridade do assunto e envolve elementos de biologia, microbiologia, bioquímica, engenharias, arquitetura, economia, sociologia e educação ambiental. As unidades já não são vistas como simples tanques, em concreto, chapas, etc. Hoje essas unidades são estudadas como reatores nos quais ocorrem transformações complexas, com participação de organismos vivos. Há de tentar-se a otimização do reator (custos) fundamentada na otimização do processo biológico (CAMPOS, 1999).

Apesar do grande impulso no conhecimento do processo anaeróbio e ampliação de sua aplicação para o tratamento de águas residuárias, pouco avanço pode ser constatado com relação à otimização dos digestores anaeróbios convencionais utilizados na estabilização dos lodos primários e secundários gerados nas ETEs convencionais. Digestores anaeróbios de baixa carga operam com tempo de retenção celular (θ_c) na faixa de 30 a 60 dias, enquanto digestores anaeróbios de alta taxa, incorporando mecanismos de aquecimento e mistura, operam com θ_c na faixa de 15 a 20 dias (METCALF & EDDY, 1991). Tendo em vista que nesses digestores convencionais não existem mecanismos de retenção de biomassa, os tempos de retenção celular e detenção hidráulica são

aproximadamente iguais, e representam o tempo de residência dos resíduos no reator. Consta-se, em geral, a necessidade de altos tempos de residência dos resíduos, nos reatores, para promover a estabilização de resíduos sólidos orgânicos, caracterizando-se a grande dificuldade de promover-se a hidrólise do material sólido, etapa inicial do processo anaeróbio e, normalmente, a etapa limitante nesse caso.

Da análise de vários artigos reunidos no *Proceedings of the II International Symposium on Anaerobic Digestion of solid waste* (MATA-ALVARES, 1999), verifica-se uma tendência nas investigações científicas sobre digestão anaeróbia de lodos, voltada para um pré-tratamento dos lodos, utilizando-se processos químicos (adição de hidróxido de sódio), físicos (maceração mecânica, desintegração de partículas sob altas pressões, hidrólise térmica, etc.) e biológicos (solubilização de lodo orgânico por meio de bactérias anaeróbias termofílicas, adição de enzimas hidrolíticas). Por outro lado, observa-se também um intenso desenvolvimento tecnológico para o pós-tratamento dos lodos e destinação final, envolvendo sistemas de separação sólido-líquido (desidratação natural e mecânica), higienização e aplicação agrícola, incineração, aterros sanitários, etc. (ANDREOLI, 1999).

Em resumo, investigações no sentido de otimizar a digestão anaeróbia de lodos pelo desenvolvimento tecnológico de "novas concepções de sistemas" não têm sido exploradas, incentivando a proposição deste projeto. Este projeto visou implementar e avaliar o uso de reatores anaeróbios seqüenciais no tratamento de lodo proveniente de decantador primário e secundário da ETE-Carioba, da cidade de Americana, SP, cujo sistema de tratamento

empregado é o de filtros biológicos. A proposta de estudar-se a estabilização de lodos utilizando reatores anaeróbios seqüenciais foi fundamentada na possibilidade de melhoria das condições hidrodinâmicas do sistema, possibilitando as condições de mistura e contato substrato-biomassa serem otimizadas em cada reator e as reações bioquímicas, envolvidas no processo anaeróbio, poderem ser favorecidas pela criação de condições ambientais distintas nos diversos reatores do sistema. A concepção de fluxo de lodo por meio dos reatores associados em série pode favorecer a predominância das etapas de hidrólise e acidificação nos primeiros reatores do sistema, propiciando maior estabilidade do processo e melhor desempenho do sistema.

OBJETIVO

Desenvolvimento de tecnologia simplificada utilizando reatores anaeróbios seqüenciais (RAS) para estabilização de lodos gerados em estações de tratamento de esgotos sanitários.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Estação de Tratamento de Esgotos ETE-Carioba, da cidade de Americana-SP. A instalação piloto de tratamento, ilustrada nas Figuras 1 e 2, é constituída por uma caixa de equalização, com volume de 2.500 l, que alimenta três sistemas de reatores anaeróbios. O primeiro sistema (A) é constituído de cinco reatores anaeróbios seqüenciais (RAS) com volumes de 1.000 l cada um, com recirculação do sobrenadante do quinto para o primeiro reator. O segundo sistema (B) também é um sistema RAS, com configuração semelhante à do



Figura 1 – Vista geral das instalações experimentais
Crédito: Autores

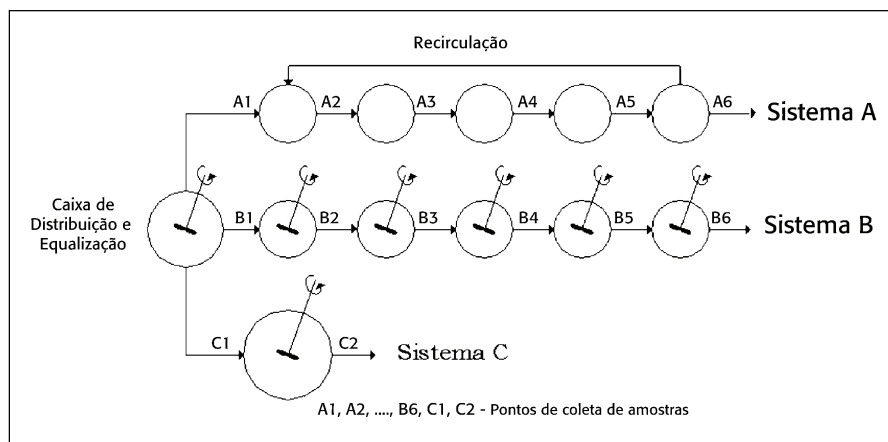


Figura 2 – Esquema da instalação piloto
Fonte: Autores

Sistema A, diferenciando-se do anterior por possuir um mecanismo de mistura promovido por misturadores lentos instalados em cada um dos reatores. Finalmente, o terceiro sistema (C) é constituído por um reator anaeróbio de câmara única, com capacidade de 5.000 l, dotado também de um misturador mecânico para manter homogêneo seu conteúdo. Em todos os reatores dos três sistemas, o fluxo é ascendente.

A avaliação dos três sistemas propostos neste estudo foi realizada por parâmetros analisados nas amostras coletadas nos pontos de coleta indicados na Figura 2. As determinações de Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis (SV), Sólidos Fixos (SF), pH, DQO Total e DQO Solúvel foram realizadas de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (AWWA, 1995). A análise de Ácidos Voláteis (AV) foi efetuada utilizando

metodologia proposta por DILLALO & ALBERTSON (1961), enquanto as de Alcalinidade Total (AT) e Alcalinidade Parcial (AP) foram efetuadas utilizando metodologia proposta por RIPLEY et al (1986).

Os sistemas foram operados por cerca de 450 dias, compreendendo etapas de partida, de transição, de adaptação e, principalmente, fases de estabilização com TDH de 30, 20 e 10 dias. O monitoramento dos sistemas foi realizado por coletas de amostras e análises de laboratório, realizado semanalmente durante todo o período de operação. O controle das vazões dos sistemas A, B e C, medição de temperatura e atividades de manutenção rotineira foram realizadas diariamente por um operador das instalações.

Visando contornar o problema operacional causado pela presença de sólidos grosseiros (estopas e fios, provenientes das tecelagens da cidade) no lodo avaliado, no 120º dia de operação, foi instalada uma peneira estática. Essa providência solucionou inúmeros problemas de manutenção das bombas e o entupimento das instalações até o final da operação dos sistemas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evolução temporal, durante os 450 dias de operação, dos parâmetros ST e SV, para o afluente (média = $(A1+B1+C1)/3$) e para o efluente dos sistemas A, B e C está apresentada nas Figuras 3 e 4.

As Figuras 3 e 4 permitem ilustrar o comportamento dos parâmetros ST e SV na saída dos sistemas A, B e C em relação à entrada dos sistemas, em todas as etapas de operação (partida, transição, adaptação e estabilização com TDH de 30 dias, adaptação e

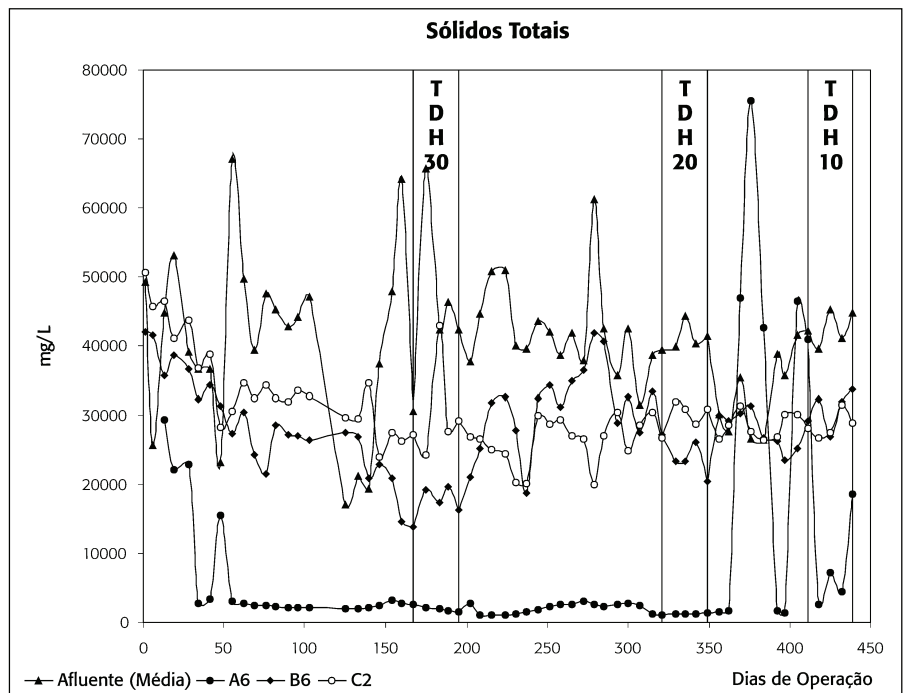


Figura 3 – Evolução temporal de sólidos totais no afluente (média aritmética dos pontos A1, B1 e C1) e no efluente de cada um dos sistemas avaliados (A6, B6 e C2)
Fonte: Autores

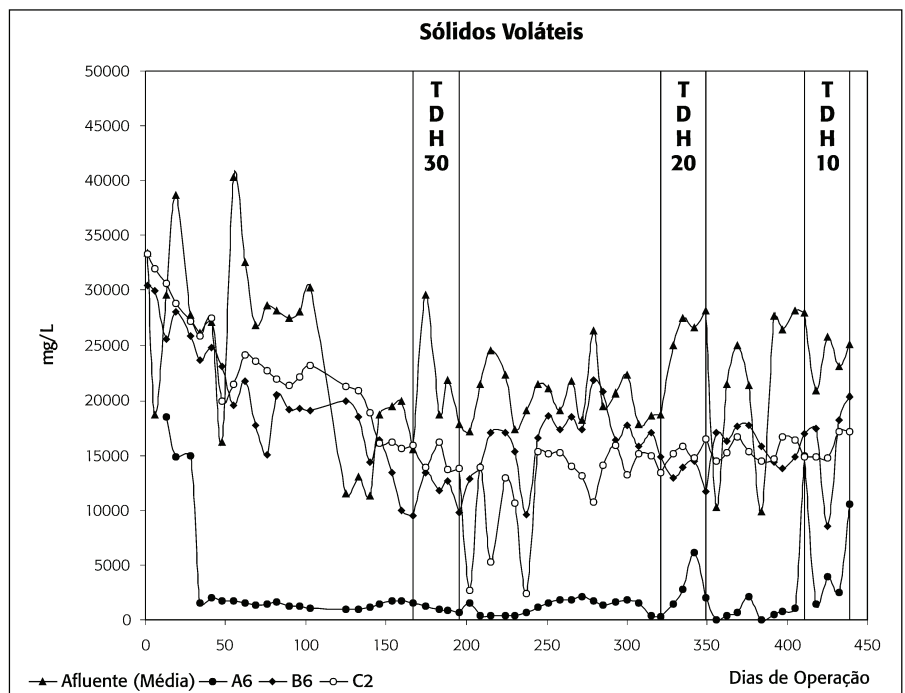


Figura 4 – Evolução temporal de sólidos voláteis no afluente (média aritmética dos pontos A1, B1 e C1) e no efluente de cada um dos sistemas avaliados (A6, B6 e C2)
Fonte: Autores

Tabela 1 – Valores médios dos principais parâmetros avaliados, durante a operação dos sistemas A, B e C para TDH de 30, 20 e 10 dias
Fonte: Autores

TDH (dias)	Pontos de Amostragem	Sólidos Totais	Remoção de ST	Sólidos Voláteis	Remoção de SV	pH	Ácidos voláteis	Alcalinidade Total	Alcalinidade Parcial
		mg/L	(%)	mg/L	(%)	-	mg/L	mg/L	mg/L
30	A1	49.500	96	22.280	96	7,2	310	610	422
	A6	1.835		910		8,0	521	2.128	1.275
	B1	52.710	66	23.995	50	7,0	321	619	401
	B6	18.165		11.920		7,5	1.286	1.363	640
	C1	45.310	32	19.680	27	7,1	304	662	448
	C2	31.025		14.430		7,6	836	1.828	1.661
20	A1	39.350	97	20.195	98	7,0	150	553	602
	A6	1.250		340		7,5	107	1.106	987
	B1	39.405	41	20.480	35	6,9	164	549	341
	B6	23.360		13.250		7,8	248	1.332	957
	C1	45.510	33	22.360	30	7,2	231	919	341
	C2	30.675		15.565		8,0	627	1.522	808
10	A1	40.355	80	23.650	80	6,5	648	437	103
	A6	8.215		4.635		7,6	224	1.663	1.221
	B1	43.595	28	23.355	31	6,5	643	430	100
	B6	31.225		16.150		7,7	152	1.506	1.085
	C1	44.080	35	24.025	34	6,6	653	734	206
	C2	28.698		15.975		8,0	620	1.383	869

Tabela 2 – Determinação de coliformes totais e fecais e ovos de helmintos para o afluente e efluente, dos sistemas A, B e C, operados com TDHs de 30, 20 e 10 dias
Fonte: Autores

TDH (dias)	Pontos de Amostragem	Coliformes (Totais e Fecais)	Remoção	Ovos de Helmintos	Remoção
		NMP/100 ml	(%)	número de ovos/L	(%)
30	A1	5,0E+06	97,80	10	100
	A6	1,1E+05		Isento	
	B1	5,0E+06	84,00	10	50
	B6	8,0E+05		5	
	C1	5,0E+06	96,80	10	60
	C2	1,6E+05		4	
20	A1	3,0E+06	99,27	8	100
	A6	2,2E+04		Isento	
	B1	3,0E+06	98,33	8	63
	B6	5,0E+04		3	
	C1	3,0E+06	98,33	8	75
	C2	5,0E+04		2	
10	A1	3,0E+05	46,67	7	100
	A6	1,6E+05		Isento	
	B1	3,0E+05	46,67	7	29
	B6	1,6E+05		5	
	C1	3,0E+05	89,66	7	57
	C2	3,1E+04		3	

estabilização com TDH de 20 dias e adaptação e estabilização com TDH de 10 dias).

A Tabela 1 apresenta os valores médios dos principais parâmetros avaliados e a eficiência de remoção de ST e SV durante as fases de estabilização com TDH de 30, 20 e 10 dias, da operação dos sistemas A, B e C.

No Sistema A, durante os TDHs de 30 e 20 dias, a remoção de ST e SV se manteve na faixa de 95%. Já durante o TDH de 10 dias houve uma queda na eficiência de remoção que se manteve na ordem de 80%, conforme pode ser observado na Tabela 1. Esse comportamento mostra que o desempenho do sistema foi comprometido com a redução do TDH para 10 dias, uma vez que houve um aumento na concentração de ácidos voláteis no efluente.

Conforme pode ser observado na Tabela 1, o Sistema B apresentou remoções de ST de 66, 41 e 28% para os TDHs de 30, 20 e 10 dias, respectivamente, enquanto o Sistema C apresentou remoções de ST de 32, 33 e 35% para os TDHs de 30, 20 e 10 dias, respectivamente.

Pode-se verificar que, tanto no TDH de 30 como no de 20 dias, o Sistema B apresentou eficiência de remoção de ST superior ao Sistema C, e que no TDH de 10 dias essas eficiências se aproximaram, mantendo-se em torno de 30%.

A hipótese formulada pelo projeto da Unicamp, de a configuração proposta para os reatores anaeróbios seqüenciais poder aumentar a eficiência do sistema e também sua estabilidade, foi confirmada apenas em parte pela pesquisa, pois o estudo comparativo entre os sistemas B e C (Sistema RAS com Mistura Mecânica e Digestor Convencional de Câmara Única com Mistura Mecânica) mostrou que, para os TDHs de 30 e 20 dias o Sistema B (RAS) apresentou eficiência de

remoção de ST e SV superior ao Sistema C (convencional). No entanto, com relação à estabilidade dos sistemas, verificou-se exatamente o inverso da hipótese estabelecida, pois o Sistema C (convencional) apresentou grande estabilidade durante toda a operação, mesmo com as reduções dos TDHs de 30 para 20 e para 10 dias, mantendo sempre as remoções de ST e SV, praticamente da ordem de 30 a 35% (apresentando até uma melhora ao desempenho do início ao final da operação), e também necessitando sempre de períodos mais curtos de adaptação à cada redução de TDH, conforme pode ser observado nas Figuras 3 e 4.

Por outro lado, o Sistema B (RAS com mistura) apresentou sempre reduções de eficiência acompanhando as reduções de TDH, necessitando também de períodos mais longos para a adaptação do sistema à nova situação.

O Sistema A (RAS com recirculação) também apresentou comportamento similar ao Sistema B, principalmente na redução do TDH de 20 dias para 10 dias, situação a qual, provavelmente, levou os Sistema de Reatores Anaeróbios Seqüenciais (RAS) A e B ao limite.

A avaliação da qualidade sanitária dos efluentes dos sistemas A, B e C, em relação ao afluente, está apresentada na Tabela 2.

Verificou-se que a totalidade dos resultados positivos para coliformes totais foi confirmada para coliformes fecais, ou seja, foram encontrados apenas coliformes fecais nas amostras analisadas. Os valores obtidos estão colocados de uma só vez na Tabela 2.

As eficiências de remoção de coliformes para os sistemas A, B e C com TDH de 30 e 20 dias foram semelhantes, apresentando valores a variarem de 96 a 99%, com exceção da

eficiência do Sistema B durante o TDH de 30 dias, que foi de 84%. Para TDH de 10 dias, os valores de eficiência de remoção dos sistemas A e B diminuíram para a faixa de 46%, enquanto no Sistema C a eficiência foi de 89%. No entanto, mesmo com alto valor de remoção, a concentração final no efluente ainda é alta para a reciclagem agrícola.

Nos sistemas B e C a eficiência de remoção para ovos helmintos foi menor em relação à de coliformes, apresentando valores de 29 a 75%. Os valores menores de eficiência de remoção foram obtidos durante a operação com TDH de 10 dias. No entanto, para o Sistema A, a eficiência de remoção de ovos de helmintos foi de 100% durante todos os TDHs avaliados. O Sistema A, por apresentar uma configuração que permite a sedimentação da matéria orgânica e sólidos presente no lodo, propiciou a sedimentação dos ovos de helmintos, os quais apresentam valores de massa suficientes para ocorrer a sedimentação durante TDH utilizado. Somente o Sistema A apresentou efluente isento de ovos de helmintos, mostrando-se, neste aspecto, adequado para a reciclagem agrícola.

CONCLUSÕES

O estudo comparativo da estabilização de lodos utilizando Reatores Anaeróbios Seqüenciais (RAS) e Digestor Convencional de Câmara Única, principal objetivo específico proposto, foi plenamente atingido, pois a análise comparativa dos sistemas B (RAS com mistura mecânica) e C (Digestor Convencional de Câmara Única com mistura mecânica) pode ser realizada durante a operação estável dos sistemas

B e C para TDHs de 30 dias, 20 e 10 dias. Pode-se concluir deste estudo que para os TDHs mais altos (30 e 20 dias) o Sistema RAS (B) apresenta melhor desempenho que o Digestor Convencional (C), porém o Sistema RAS se mostrou menos estável que o Digestor Convencional (C), principalmente para TDHs menores.

O Sistema A, constituído de Reatores Anaeróbios Seqüenciais com recirculação (sem mistura mecânica), foi o sistema que apresentou o melhor desempenho na remoção de ST e SV. Evidentemente que a acumulação de sólidos nos reatores precisa ser considerada e impede uma comparação conclusiva com os sistemas B e C. No entanto, a operação do Sistema A, com os cinco Reatores Anaeróbios Seqüenciais, por cerca de 450 dias, sem que houvesse necessidade de descarte, indica que esta alternativa é plenamente viável e bastante econômica, necessitando apenas de descartes periódicos de lodo (provavelmente já bastante estabilizado). Após tempos relativamente longos, aspecto operacional, perfeitamente possível de ser incorporado à utilização dessa tecnologia.

Com relação ao número de reatores necessários à estabilização de lodos no Sistema RAS, também objetivo específico do projeto, os resultados indicaram que um aumento em relação ao número estudado (cinco reatores) pode não

promover um aumento no desempenho do sistema, o qual compense a possibilidade de diminuir sua estabilidade. Por outro lado, uma grande diminuição do número de reatores em relação ao estudado (5) muda a concepção hidrodinâmica do sistema (afastando-se do regime "tipopistão" e aproximando-se do regime "mistura completa"). Baseando-se nos resultados obtidos neste estudo, um número de três a cinco reatores pode compor um Sistema RAS com vantagens de desempenho em relação ao Digestor Convencional de Câmara Única, operando com TDHs entre 20 e 30 dias.

Como durante a operação com TDH de 10 dias, o desempenho dos sistemas RAS (A e B) diminuiu significativamente, e também houve uma queda na estabilidade com os sistemas chegando, praticamente, à sua condição limite, pode-se utilizar, como parâmetro de projeto TDH na faixa de 20 a 30 dias, baseado nos estudos realizados.

De forma geral, pode-se concluir que o desenvolvimento de tecnologia simplificada, utilizando Reatores Anaeróbios Seqüenciais (Sistema RAS) para a estabilização de lodos de esgoto, mostrou-se plenamente viável, podendo ser aplicada em escala real, com melhor desempenho que a tecnologia convencional de Digestor de Lodos de Esgoto.

BIBLIOGRAFIA

- ANDREOLI, C. V. (Coord.) *Uso e manejo de lodos na agricultura*. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB, 1999. 97p.
- AWWA/APHA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20 ed. Washington. DC, USA, 1998. 1325 p.
- CAMPOS, J. R. (Coord.) *Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbios e disposição controlada no solo*. Rio de Janeiro: ABES, Projeto PROSAB, 1999. 435p.
- CHERNICHARO, C. A. L. *Reatores anaeróbios*. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1997. 245p.
- DILLALO R.; ALBERTSON O. E. Volatile acids by direct titration. *Journal Water Pollution Control Federation*. Alexandria, VA, v. 33, n. 4, p. 356-65, 1961.
- MATA-ALVAREZ, J. (Ed.) II INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANAEROBIC DIGESTION OF SOLID WASTE (II ISAD-SW). 1999, Barcelona. *Proceedings...* Barcelona: IWA Publishing, 1999.
- METCALF & EDDY INC. *Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse*. Cingapura: McGraw-Hill Publishing Company, 3rd 1991.
- 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. A., v. 58, n. 5, p. 406-11, 1986.