
Tratamento de Esgotos Domésticos por Lodos Ativados, com Remoção de Nitrogênio e Fósforo

TSUTUOM YANO; GUGLIELMO TARALLI;
ALCIDES D. GARCIA JR.; SANDRA M.
PEREIRA DE QUEIROZ; EUCLIDES HONÓRIO
DE ARAÚJO.

1 — INTRODUÇÃO

Na natureza, as características de muitos corpos de água superficiais tendem a variar lentamente, de uma condição na qual a velocidade de crescimento de plantas aquáticas é limitada pela disponibilidade de nutrientes a um estado no qual ocorre o inverso, ou seja, um abundante fornecimento de nutrientes produzindo um crescimento prolífico de plantas. Estes dois estados são frequentemente referidos como oligotróficos e eutróficos, respectivamente.

O excesso de nutrientes causa uma reprodução bastante rápida de algas, bactérias e outros organismos, fazendo com que o biosistema produza, então, copiosas quantidades de lama e tecido microbiano, indicadores de uma perturbação na composição química de um dado corpo de água.

Já se tem conhecimento que o processo de eutrofização de alguns corpos de água tem sido bastante

acelerado (3), principalmente pela descarga de águas residuárias municipais e industriais, podendo afetá-los tanto que podem, inclusive, impedir seu uso como água de abastecimento. Embora tenham sido desenvolvidas técnicas de tratamento para sobrepujar estas dificuldades, a sua aplicação satisfatória resulta, geralmente, em considerável aumento do custo de tratamento.

Pelas razões expostas, muitos sistemas têm sido pesquisados que podem, se aplicados com cuidado, retardar ou mesmo sustar o processo de eutrofização. Um dos métodos sugeridos e mais estudados para se controlar a velocidade de eutrofização consiste em diminuir as concentrações de nitrogênio e fósforo em efluentes de estações de tratamento de esgotos.

Geralmente, os estudos sobre remoção de nitrogênio e fósforo desses efluentes têm sido realizados ou tentando-se modificar estações de tratamento já existentes, principalmente aquelas em que já existe um

sistema de lodos ativados, ou considerando-se o problema no projeto de novas estações. De qualquer maneira, isso só pode ser alcançado fornecendo-se, ao projetista, uma série de dados e parâmetros indispensáveis aos projetos de estações.

1.1 Remoção de nitrogênio

A crescente importância de se controlar a descarga de compostos de nitrogênio de estações de tratamento de esgoto estimulou o desenvolvimento de processos de nitrificação-denitrificação, modificando-se o processo de lodos ativados convencional.

Os processos de nitrificação-denitrificação baseiam-se numa transformação biológica de nitrogênio presente na forma de amônia em nitrogênio gasoso, passando por uma fase intermediária na forma de nitrato. Esta fase intermediária (nitrificação) ocorre normalmente no processo de lodos ativados se estiverem presentes bactérias nitrifican-

tes. A desnitrificação biológica, entretanto, ocorre somente em condições anaeróbias em presença de uma fonte de carbono (1, 4, 6, 8).

Várias substâncias têm sido pesquisadas e usadas como fontes de carbono e energia no processo de desnitrificação: metanol, etanol, acetona, ácido acético, etc. Existe, também, a possibilidade de se usar a própria matéria orgânica existente no esgoto como fonte de carbono e de energia (1, 6, 10).

1.2 Remoção de fósforo

Para a remoção de fósforo de efluentes de estações de tratamento de esgotos vêm sendo estudados tanto processos químicos quanto biológicos. Ambos os tipos de processo transformam o fosfato solúvel ou coloidal presente em fosfatos insolúveis recuperáveis.

O processo de lodos ativados, quando operado em certas condições, pode remover grandes quantidades de fósforo. De estudos realizados em sistemas existentes, onde se verificaram eficiências de remoção superiores às previstas teoricamente, é que se originaram pesquisas sobre processos de remoção.

Entretanto, os vários processos químicos propostos se têm mostrado relativamente caros, principalmente devido ao uso de íons metálicos para precipitar os fosfatos. Por

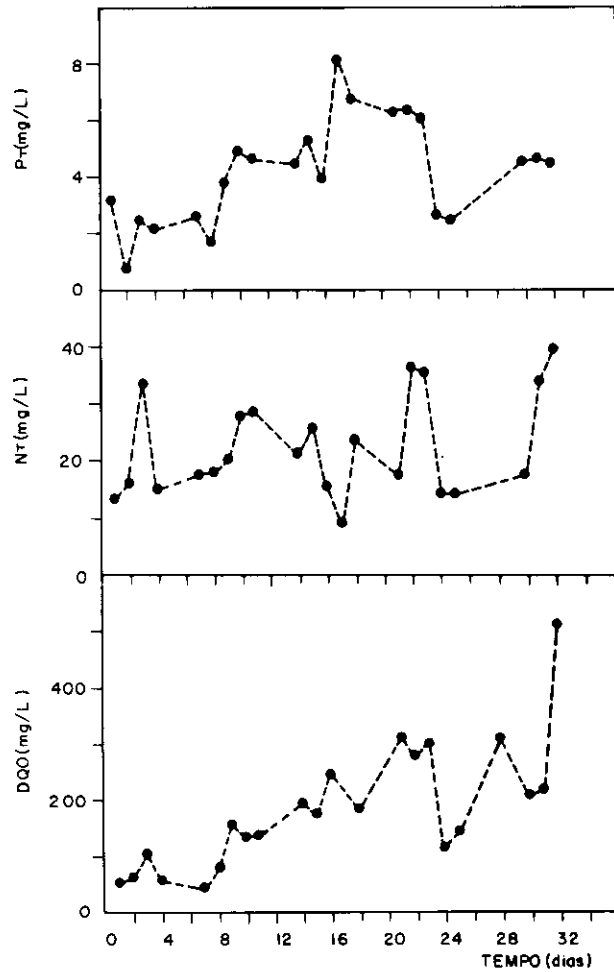
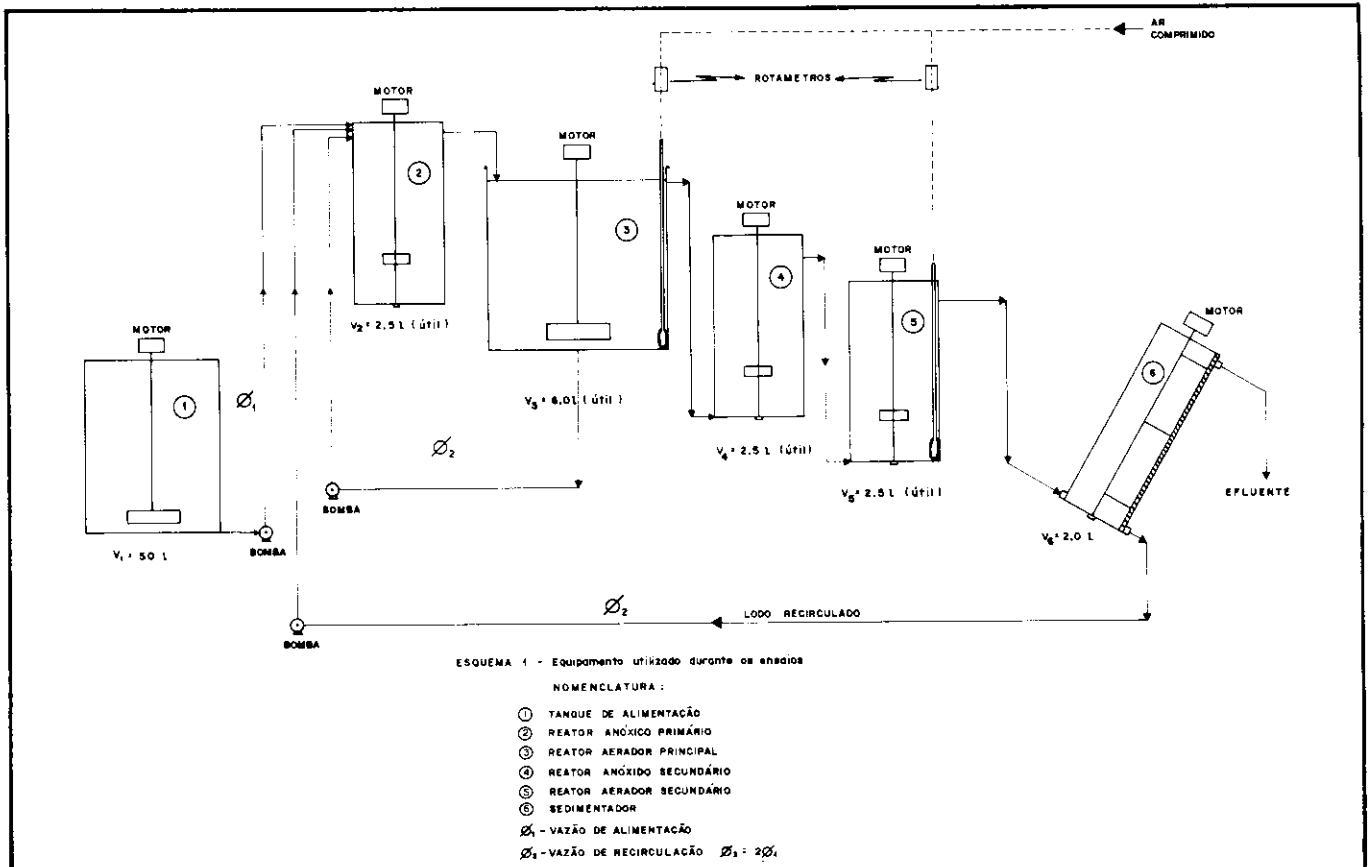


FIGURA 1 - Variação da demanda química de Oxigênio (DQO), concentração de nitrogênio total (NT) e Fósforo total (P_T) no afluente do sistema



esses motivos, os processos biológicos vêm recebendo, por parte dos pesquisadores, maior atenção (5).

No processo de lodos ativados, ou em suas modificações, para ocorrer uma remoção ótima de fósforo é necessário um aumento do tempo de resistência no tanque de aeração, altas taxas de reciclo e uma maximização da separação sólido-líquido, de maneira a evitar-se possível liberação do fósforo de volta ao sobrenadante (5).

Existe na literatura certa controvérsia sobre o mecanismo de remoção envolvido. Muitos pesquisadores (1, 5, 7) têm obtido resultados que indicam que os microrganismos presentes no processo de lodos ativados são capazes de biologicamente remover e armazenar fósforo em quantidades excessivas e bem maiores das necessárias para seu crescimento. Tal retirada biológica em excesso tem sido conhecida como "luxury uptake theory". Contudo, outros pesquisadores (11) têm observado que o aproveitamento biológico de fosfato é sempre proporcional ao crescimento de lodo, e Menar e Jenkins (12) postulam que altas remoções de fósforo ocorrem devido à precipitação química do fósforo seguido de subsequente aprisionamento do precipitado no floco biológico. Se esta última afirmativa for correta, uma eficiente remoção de fósforo pelo processo de lodos ativados requer uma variação no seu ambiente químico, principalmente no tocante ao seu pH. Existe, entretanto, a certeza de que há melhor preci-

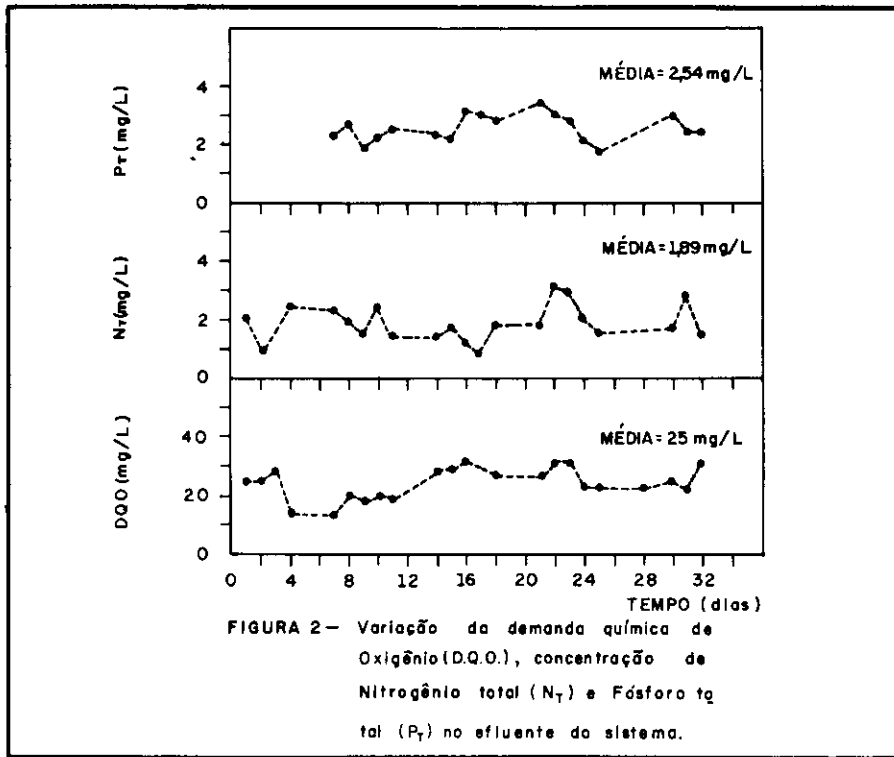


FIGURA 2- Variação da demanda química de Oxigênio (D.Q.O.), concentração de Nitrogênio total (N_T) e Fósforo total (P_T) no efluente do sistema.

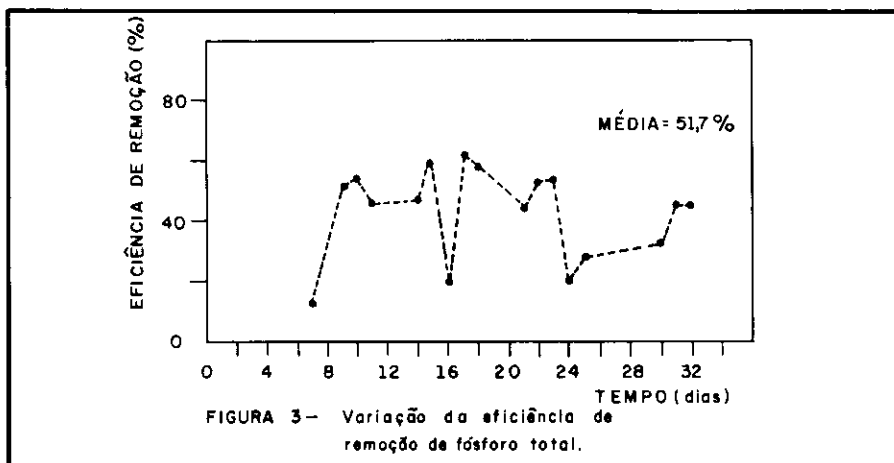


FIGURA 3- Variação da eficiência de remoção de fósforo total.

TABELA 1

Valores do coeficiente de remoção de fósforo (dP/dS) durante o ensaio com esgoto sedimentado.

Tempo de ensaio (dias)	Demanda química de oxigênio afluente, Sa (mg/l)	Demanda química de oxigênio afluente, Se (mg/l)	Concentração de fósforo efluente, Pa (mg/l)	Concentração de fósforo efluente, Pe (mg/l)	$\frac{dP}{dS} = \frac{Pa - Pe}{Sa - Se}$
11	136,9	19,1	4,64	2,49	0,018
14	192,8	28,3	4,44	2,34	0,013
15	176,4	29,3	5,32	2,18	0,021
18	183,6	27,0	6,72	2,84	0,025
21	310,8	27,0	6,16	3,44	0,010
22	275,5	31,7	6,33	2,98	0,014
23	301,8	31,3	6,03	2,81	0,012
31	213,5	22,1	4,50	2,42	0,011
32	514,1	31,4	4,40	2,39	0,004

itação de fosfato quando existem baixas concentrações de nitrato no efluente, ou seja, quando ocorrem altas eficiências de remoção de nitrogênio (1). De qualquer maneira, deve-se retirar lodo suficiente do sistema, periodicamente, de modo a assegurar que todo o fosfato precipitado seja removido.

Baseada nos problemas anteriormente citados, propôs-se a Superintendência de Pesquisa da CETESB desenvolver um estudo referente à remoção de nutrientes em estações de tratamento de esgotos, em escala de laboratório, pelo sistema modificado de lodos ativados proposto por Marais (10).

O presente estudo descreve a realização de um ensaio no sistema em apreço, utilizando-se esgoto primário, de maneira a verificar sua eficiência e definir condições para a continuidade da pesquisa.

2 — MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Equipamento utilizado

O esquema 1 representa, esquematicamente, o equipamento utilizado baseado em sistema proposto por Barnard (1) e por Marais e colaboradores (10). Consiste de quatro reatores em série, a saber: anóxico primário, aerador principal, anóxico secundário, re-aerador ou aerador secundário e tanque de sedimentação.

A fonte de carbono e energia para a remoção de nitrogênio provém da matéria orgânica existente no esgoto e por produtos da respiração endógena.

Os sólidos ativos são reciclados do decantador e do reator aerador principal ao reator anóxico primário, que também recebe o esgoto afluyente.

A denitrificação empregando como fonte de carbono a energia ocorre no anóxico primário, enquanto a que usa os produtos da respiração endógena ocorre no anóxico secundário. A nitrificação ocorre no reator aeróbio.

A remoção de fósforo se deve à presença dos dois reatores anóxicos e à manutenção do pH, no reator aeróbio principal, entre 7 e 8.

2.2 Preparo do inóculo

No preparo do inóculo para o ensaio utilizou-se um meio sintético, previamente inoculado com lodo cru proveniente do adensador da ETE Pinheiros (SABESP). Após vinte dias de operação, optou-se por uma mu-

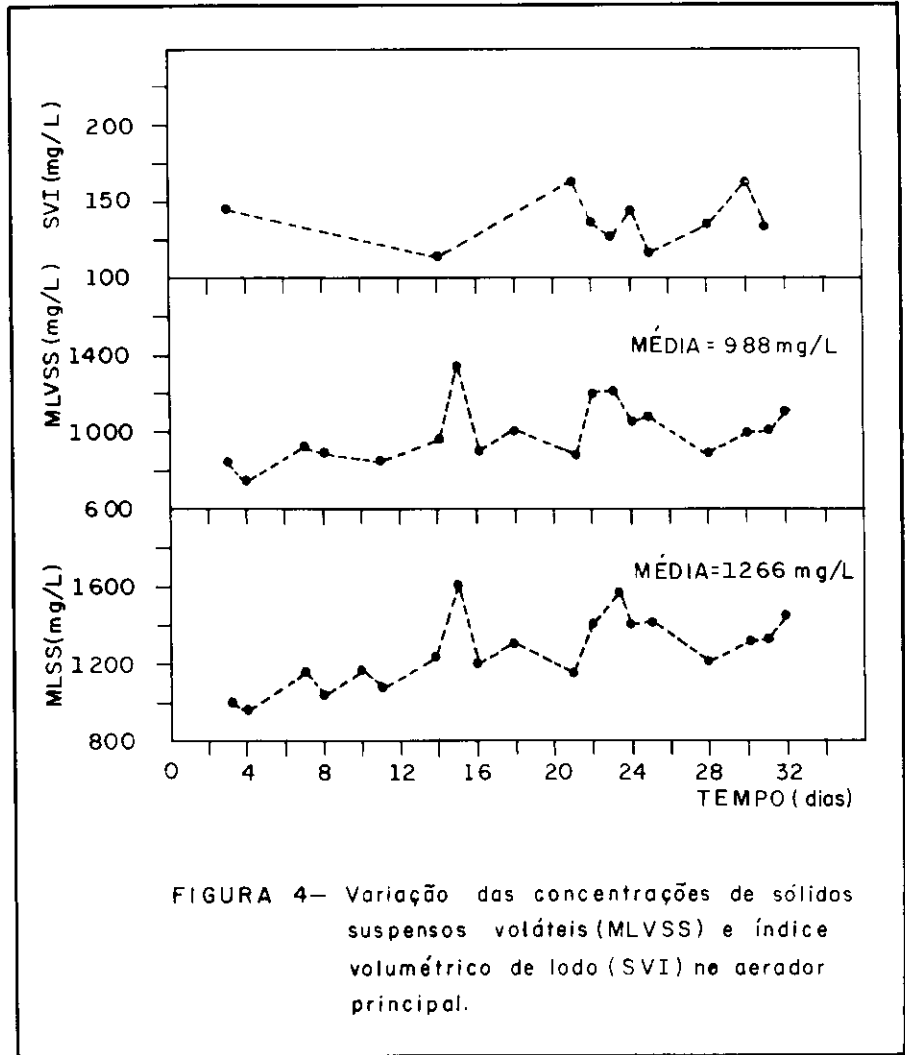


FIGURA 4— Variação das concentrações de sólidos suspensos voláteis (MLVSS) e índice volumétrico de lodo (SVI) no aerador principal.

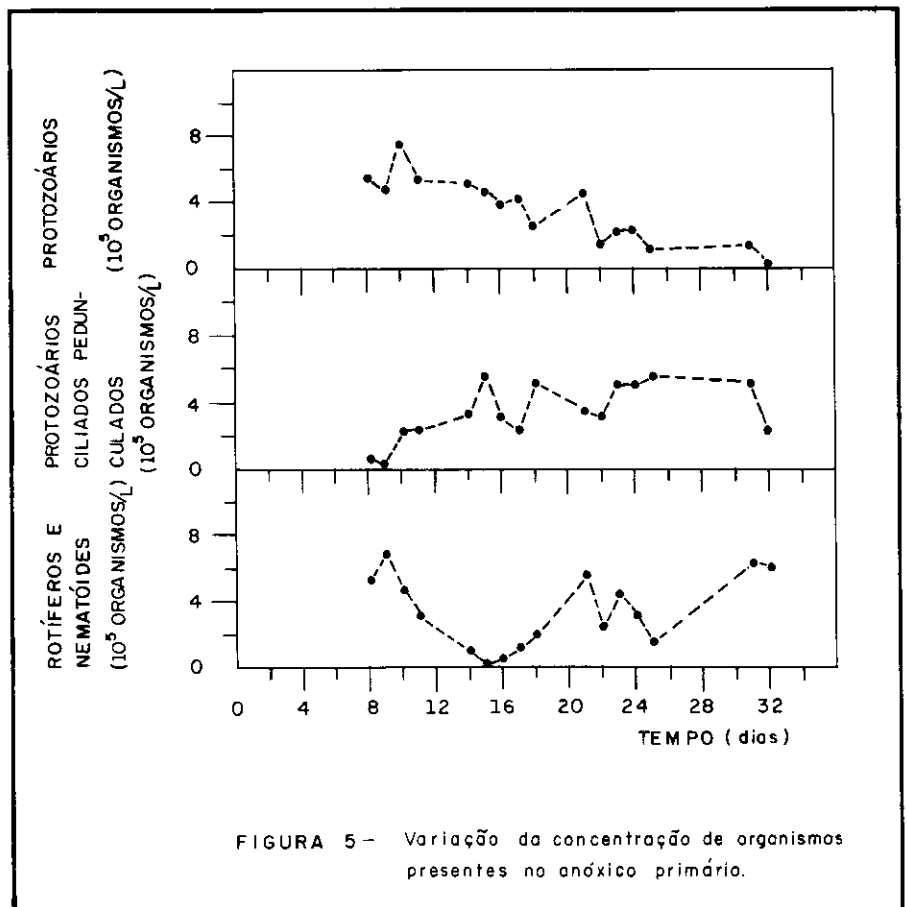


FIGURA 5— Variação da concentração de organismos presentes no anóxico primário.

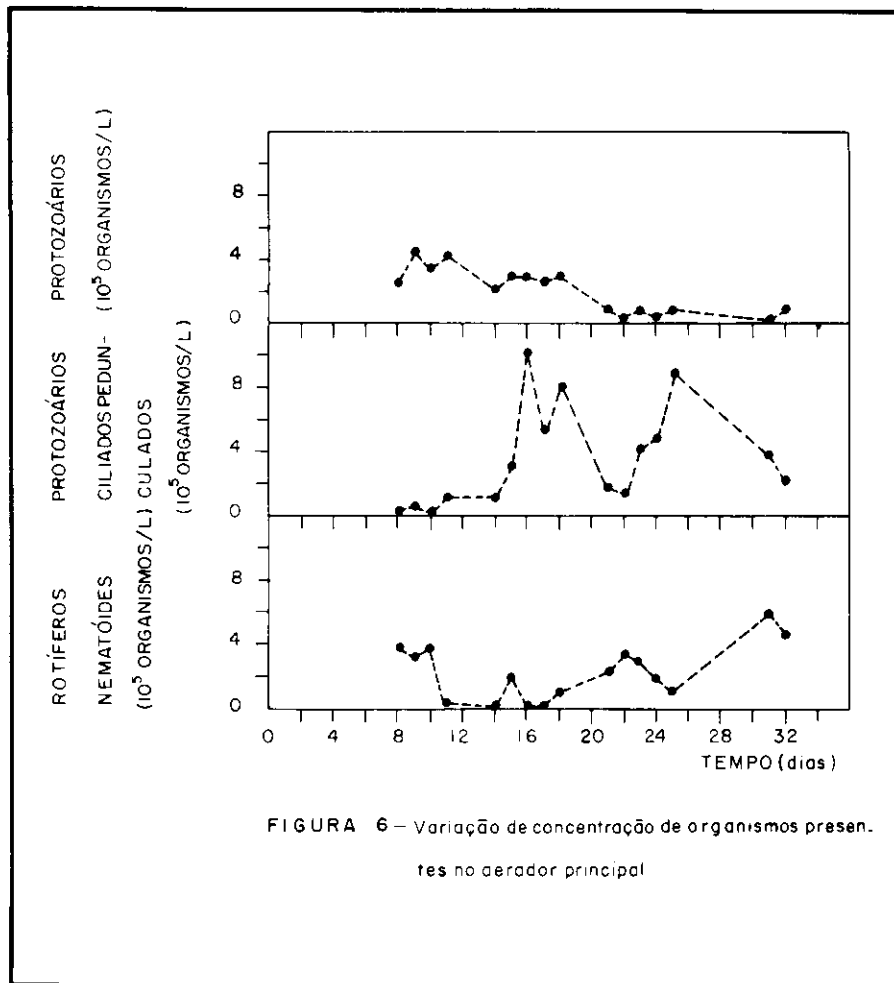


FIGURA 6 - Variação de concentração de organismos presentes no aerador principal

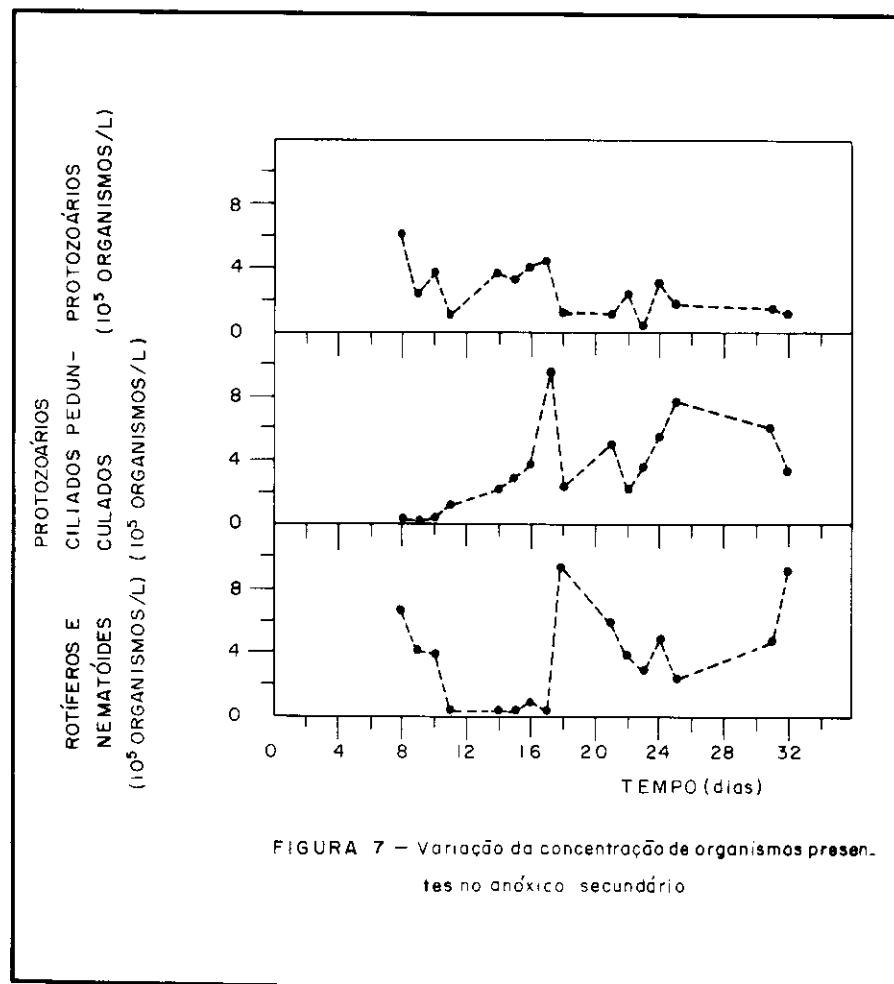


FIGURA 7 - Variação da concentração de organismos presentes no anóxico secundário

dança gradativa do meio sintético por esgoto primário, proveniente da mesma estação.

2.3 Descrição do ensaio

Terminada a fase de preparo do inóculo, iniciou-se o ensaio propriamente dito, alimentando-se o sistema com esgoto primário numa vazão de alimentação de 800 ml/.

O meio para alimentação era armazenado em câmara frigorífica. Diariamente retirava-se quantidade suficiente para um dia de operação (aproximadamente 20 litros), homogeneizava-se e aquecia-se até cerca de 20°C. Transferia-se, então, para o tanque de alimentação e corrigia-se seu pH para 8,0.

A temperatura foi mantida em (20 ± 2)°C, com o sistema operando em ambiente com temperatura controlada.

O pH nos diversos tanques foi mantido entre 6,5 e 8,0, com H₂SO₄ 1,0N ou NaOH 1,0N.

Adotou-se, para este ensaio, Ø₂ - 2 Ø, (ver esquema 1) para as duas vazões de reciclo; e a idade do lodo foi mantida em quinze dias, controlando-a através do método de controle hidráulico (6).

2.4 Controles efetuados

2.4.1 Controles analíticos:

Durante o ensaio realizaram-se periodicamente os seguintes controles: demanda química de oxigênio, concentração de nitrogênio total segundo Kjeldahl, fósforo total no afluente e no efluente, teor de sólidos suspensos totais e sólidos suspensos voláteis, índice volumétrico de lodo (SVI) no aerador principal. Os métodos de análise empregados foram os do Standard Methods (9).

2.4.2 Controles biológicos:

De maneira a se ter maior conhecimento sobre o andamento do processo, realizou-se uma série de controles biológicos, constando de uma identificação e de uma contagem dos organismos presentes, em todos os reatores. Para tanto, adotou-se o método de Palmer, descrito por Branco (2).

3 — RESULTADOS

Observou-se, inicialmente, que, apesar da acentuada variação da composição do afluente durante o ensaio (Fig. 1), o sistema respondeu bem a essas variações (Fig. 2), che-

gando a um regime praticamente estacionário.

A eficiência média do sistema em relação à redução da demanda química de oxigênio foi de 87,4%, em relação à remoção de nitrogênio (no caso, nitrogênio total segundo Kjeldahl) foi de 91,1% e em relação a remoção de fósforo foi de 51,7%.

A eficiência de remoção de nitrogênio alcançada no ensaio é da mesma ordem de grandeza das citadas na literatura (1, 10).

Entretanto, no tocante à remoção de fósforo, nas condições utilizadas no ensaio, a eficiência do sistema foi relativamente baixa, quando comparada com os dados da literatura (5, 7). Na Fig. 3 observa-se que houve grande variação nessa eficiência de remoção. As teorias existentes (1, 5, 7, 10, 11 e 12) admitem que a remoção de fósforo é bastante influenciada pelas variações de pH nos reatores. Este fato foi constatado em nossos ensaios, porque, nos instantes em que houve uma brusca queda na eficiência (Fig. 3), foi necessária uma correção de pH nos diversos reatores.

É interessante verificar que, praticamente nos mesmos instantes em que a remoção de fósforo sofreu brusca redução, houve acentuado aumento do teor de sólidos totais e voláteis (Fig. 4).

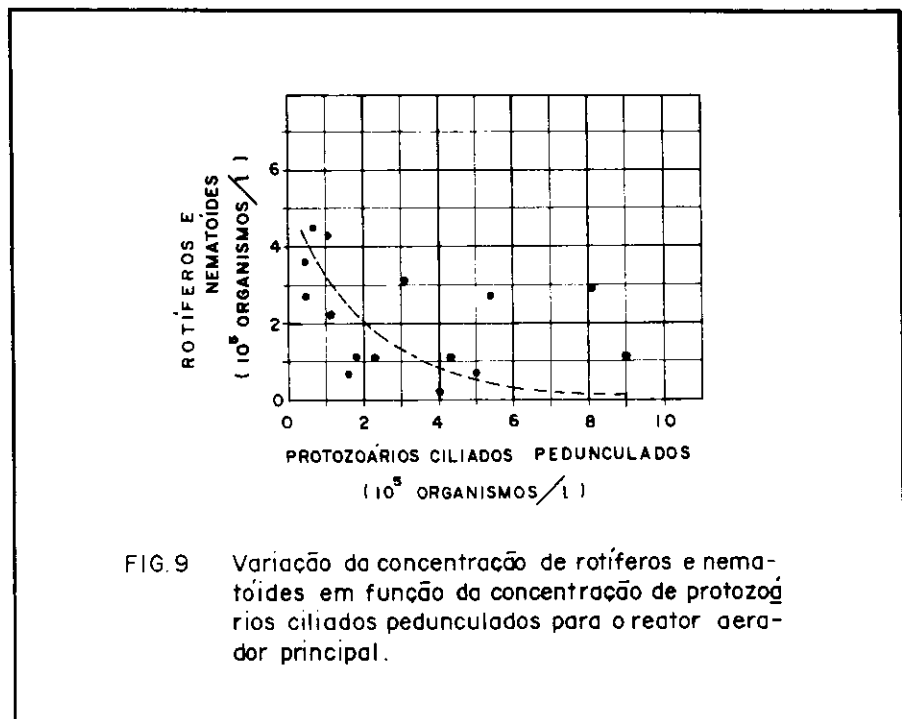
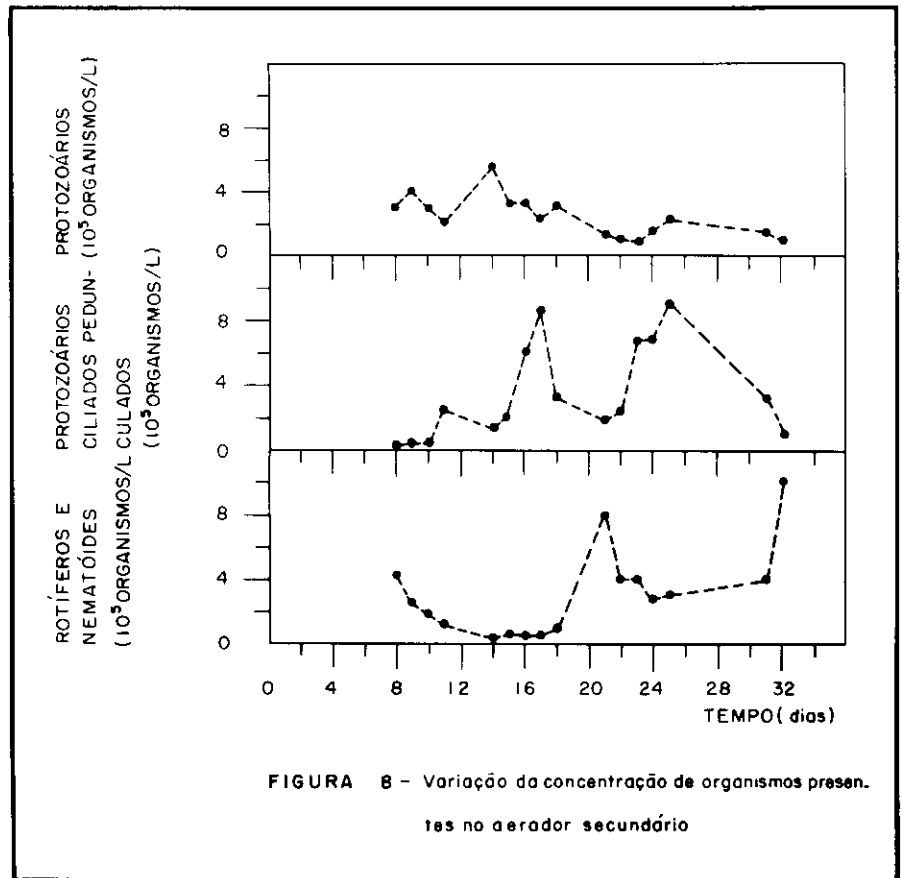
A tabela 1 mostra que os valores do coeficiente de remoção de fósforo (dP/dS), apesar da variação verificada, concordam com os obtidos por Marais (7) para a mesma idade de lodo. Esse fato realça uma das conclusões obtidas naquele trabalho ou seja, que a concentração de fósforo removido é uma função da demanda química de oxigênio utilizada. Em outras palavras, a relação entre o fósforo removido e a DQO utilizada é constante para uma particular idade de lodo.

Nas figuras 5 a 10 observa-se:

a) acentuada redução na população de protozoários, em todos os tanques, à medida que o ensaio se desenvolveu (ver figs. 5 a 8);

b) nítida tendência da concentração de protozoários ciliados pedunculados apresenta variações contrárias às da concentração de rotíferos e nematóides (ver Fig. 9);

c) a concentração de protozoários ciliados pedunculados aumentou de maneira considerável justamente nos momentos em que se verificou diminuição da eficiência de remoção de fósforo (ver figs. 3 e 10).



4 — CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir:

a) Nas condições do ensaio, alcançou-se uma eficiência de remoção de nitrogênio (91,1%) da mesma ordem de grandeza das citadas na literatura.

b) A eficiência de remoção de fósforo foi baixa e bastante variável.

c) Parece existir uma dependência entre a eficiência de remoção de fósforo, teor de sólidos totais e voláteis e concentração de organismos presentes.

d) Os valores obtidos do coeficiente de remoção de fósforo (0,014) concordam com os obtidos por outros pesquisadores.

e) A resposta do sistema foi pouco afetada pelas variações das cargas do afluente.

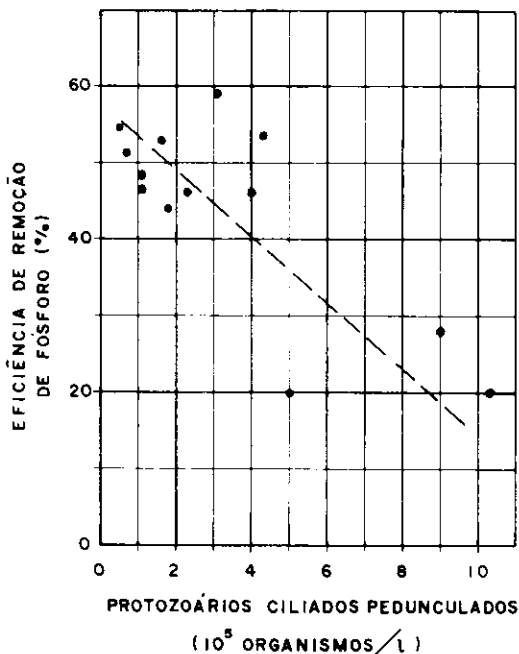


FIG. 10 Variação da eficiência de remoção de fósforo total em função da concentração de protozoários ciliados pedunculados presentes no reator aerador principal.

f) Parece existir uma dependência entre a eficiência de remoção de fósforo e a variação de pH (Fig. 11).

g) Tendência da concentração de protozoários ciliados pedunculados apresentar variações contrárias às da concentração de rotíferos e nematóides.

5 — OBSERVAÇÃO FINAL

Pretende-se, agora, realizar outros ensaios visando a melhorar as eficiências encontradas, alterando-se algumas das condições impostas no presente, tais como: variação da idade do lodo, variação das taxas de recirculação, adição de coagulantes, variação do tempo de retenção, adição de etanol; e tentar-se um balanço econômico entre os vários sistemas propostos.

6 — BIBLIOGRAFIA

- (1) **Barnard, J.L.** — "Biological nutrient removal without the addition of chemicals" — *Water Research*, 9, p. 485, 1975.
- (2) **Branco, S.M.** — "Material e técnicas empregadas em hidrobiologia" — In: "Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária", vol. 1, p. 315. Cetesb, 1971.
- (3) **Branco, S.M.** — "Análise de alguns aspectos e soluções prováveis para o lago Paranoá" — *Revista DAE - Ano 36*, n.º 103, 1976, p. 38.
- (4) **Johnson, W.K.; Schroeffer, G.M.** — "Nitrogen removal by nitrification and denitrification" — *J.W.P.C.F.*, 36, p. 1015, 1964.
- (5) **Levin, G.V.; Shapiro, J.** — "Metabolic uptake of phosphorus by wastewater organisms" — *J.W.P.C.F.*, 37, p. 800, 1965.
- (6) **Marais, G.V.R.** — "Relatório sobre as estações de tratamento de esgotos por lodos ativados de Brasília" — *Revista DAE - Ano 36*, 103, p. 26, 1976.
- (7) **Martin, K.A.; Marais, G.V.R.** — "Kinetics of enhanced phosphorus removal in the activated sludge process" — Report of Department of Civil Engineering, University of Cape Town, september, 1975.
- (8) **Mulbarger, M.C.** — "Nitrification and denitrification in activated sludge systems" — *J.W.P.C.F.*, 43, p. 2059, 1971.
- (9) *Standard Methods for the examination of water and waste water*, 13 th. Ed. Am. Publ. Health.
- (10) **Starr, L.B.; Marais, G.V.R.** — "Sewage as electron donor in biological denitrification" — Research Report n.º 3.7 — Department of Civil Engineering. — University of Cape Town — September, 1974.
- (11) **Raudall, S.W.; Marshall, D.W.; King, P. H.** — "Phosphate release in activated sludge Process" — *Journal of the Sanitary Engineering Division*, 96, p. 395, April 1970.
- (12) **Menar, A.; Jenkins, D.** — "The fate of phosphorus in waste treatment processes: The enhanced removal of phosphate by activated sludge" — *Proceedings, 24th Purdue Industrial Waste Conference*, 1969.

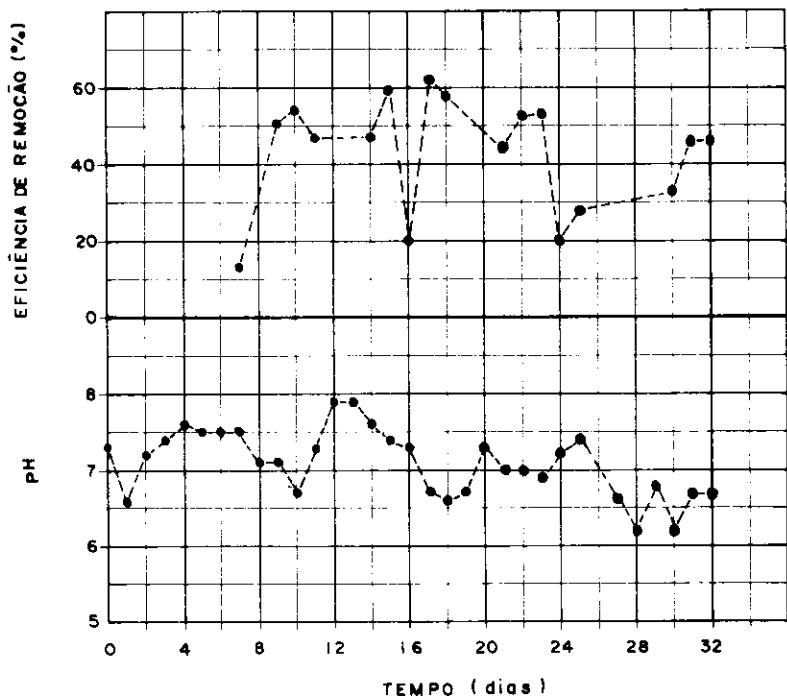


FIG. 11 Variação de pH no reator aerador principal e da eficiência de remoção de fósforo total.