

## **ESTUDO DO SISTEMA DE PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE ANAERÓBIO PELO MÉTODO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NO SOLO: CONTINUIDADE**

**Bruno Coraucci Filho<sup>(1)</sup>, Ronaldo Stefanutti<sup>(1)</sup>, Roberto Feijó de Figueiredo<sup>(1)</sup>, Edson Aparecido Abdul Nour<sup>(1)</sup>, Luiz Carlos Klusener Filho<sup>(1)</sup> e Silvana Turolla Broleze<sup>(1)</sup>**

*<sup>(1)</sup> Depto. de Saneamento e Ambiente da Fac. Eng. Civil da UNICAMP  
Caixa Postal 6021, CEP 13.081-970, Campinas/SP.  
Email: [bruno@fec.unicamp.br](mailto:bruno@fec.unicamp.br).*

### **RESUMO**

O trabalho consiste na avaliação da eficiência de remoção de carga orgânica, N e P de um sistema de disposição no solo através do método do escoamento superficial ("Overland Flow"), o qual foi instalado em área cedida pela empresa Águas de Limeira, concessionária do sistema de águas e esgotos do município de Limeira, Estado de São Paulo, Brasil; em uma rampa, com dimensões de 45,0 metros de comprimento por 4,2 metros de largura, sendo os primeiros 05 metros uma área sem aplicação de efluente (testemunha) e inclinação média de 3,50%, coberto com grama Tifton 85 (*Cynodon* sp). O sistema funciona como um reator biológico e, foi abastecido por efluente que recebeu tratamento primário em reatores anaeróbios, com tempo de detenção hidráulico de 3 horas, sendo esse distribuído por um tubo de 'PVC' perfurado na parte superior da rampa, sendo este fluxo redistribuído transversalmente a cada 5,0 metros através de anteparos de concreto de 0,02m de ressalto. A taxa de aplicação de efluente foi de 0,10; 0,20; 0,30 e 0,40 m<sup>3</sup>/m.h. Esse efluente recebeu tratamentos físicos, químicos e biológicos ao longo do patamar. O sistema mostrou ser eficiente quanto aos parâmetros analisados, atendendo aos padrões de lançamentos de efluentes.

### **PALAVRAS CHAVE**

Escoamento Superficial, Pós-tratamento de Efluentes, Tratamento de Baixo Custo, Tratamento Alternativo, Disposição no Solo, Efluente Sanitário.

### **INTRODUÇÃO**

A necessidade de tratar os esgotos domésticos passou a ser uma das prioridades governamentais quer pelos aspectos sanitários, ambientais e ora por aspectos estratégicos que a escassez de água provoca principalmente nas regiões mais desenvolvidas.

Na atualidade apenas 35% da população brasileira conta com o serviço de coleta de esgoto e deste total, 10% recebe tratamento, provocando o lançamento diário de 10 bilhões de litros de esgoto bruto nos corpos d'água brasileiros. Esgotos lançados in natura em corpos d'água, além de contribuírem para a degradação do meio ambiente, constituem grave problema de saúde pública: Como resultante direta deste quadro, morreram no Brasil cerca de 7633 pacientes internados em consequência de doenças infecciosas intestinais entre 1984 e 1991 (Finep, 2001).

O mais comum método de tratamento de efluentes domésticos, que não requer o transporte de efluente a longas distâncias, é o sistema descentralizado; tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento. O tratamento geralmente consiste em uma primeira parte anaeróbia e seguida de disposição no solo. Os sistemas aeróbios consomem considerável quantidade de energia, e produzem mais lodo que os anaeróbios; além de maior manutenção e cuidados (Zeeman & Lettinga, 1999).

Os sistemas que utilizam o processo anaeróbio não são altamente eficientes, atingindo valores abaixo de 80 % de remoção de DBO, o que não satisfaz a legislação (Andrade Neto et al., 1999). Esse tipo de tratamento requer um polimento de seu efluente final para descarte.

O escoamento superficial no solo é uma maneira controlada de descarga, em que uma grande quantidade de efluente escoar sobre uma rampa. Os solos indicados para este tipo de disposição são os de baixa permeabilidade, preferencialmente os argilosos, a fim de impedir a infiltração de água contaminada nas camadas mais profundas do solo, o que poderia comprometer os corpos d'água. A rampa recebe uma vegetação suporte que promove um "habitat" para a biota responsável pelo processo de tratamento, evita erosões, retém sólidos e remove nitrogênio, fósforo e metais pesados. (Gilde et al., 1971).

A contribuição efetiva e segura, do ponto de vista sanitário e ambiental, será na utilização de um sistema de baixo custo de implantação, manutenção e operação e, portanto, acessível às comunidades que tenham limitações orçamentárias, atendendo a legislação na qualidade dos efluentes.

O escoamento superficial tem sido utilizado para atingir dois objetivos: como sistema de tratamento no solo equivalente ao nível secundário dos sistemas convencionais, ou como polimento de efluentes secundários daqueles sistemas. Pesquisas efetuadas recentemente têm procurado investigar o uso de efluentes brutos, apenas passando por pré-tratamento, aparentemente produz uma maior eficiência na remoção de sólidos e, portanto podendo ser uma alternativa viável (Coraucii Filho et al., 1999). Este sistema é um método simples e de baixo custo para tratamento de efluentes, mas que necessita de pesquisas complementares para um maior conhecimento de seu comportamento (CORAUCCI, 1991) e segurança em seu emprego.

O trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de remoção da DBO, DQO, N e P no pós-tratamento de efluente anaeróbio, por disposição no solo. Na sua etapa preliminar, foram aplicadas taxas hidráulicas de 0,10 e 0,20 m<sup>3</sup>/h.m e na fase final, ou de continuidade, taxas hidráulicas de 0,30 e 0,40 m<sup>3</sup>/h.m.

## METODOLOGIA

A área experimental da pesquisa é constituída por um sistema de filtros anaeróbios de fluxo ascendente com recheio de bambu, operando com tempo de detenção hidráulico de 3 horas, alimentado com esgoto sanitário. Como pós-tratamento deste conjunto, utilizou-se uma rampa compactada com motoniveladora, coberta com grama Tifton 85 (*Cynodon sp*), com declividade média de 3,50%, com 4,20m de largura e 45m de comprimento (CORAUCCI, 1992). Utilizou-se para a distribuição do efluente um tubo perfurado de PVC - DN100, disposto transversalmente ao comprimento da rampa, no quinto metro a partir da cabeceira. Os primeiros 05 metros não receberam aplicação de efluente, sendo essa área reservada como área testemunha. A taxa de aplicação de efluente foi de 0,10; 0,20; 0,30 e 0,40 m<sup>3</sup>/h.m. O período de aplicação foi de 8 horas/dia, com frequência de 05 dias/semana.

A rampa recebeu a cada 5m de distância uma barreira transversal ao seu comprimento, instalada a 0,10m de profundidade com ressalto de 0,02m (PAGANINI, 1997), visando redistribuir o escoamento do líquido reduzindo as áreas mortas e a formação de canais preferenciais ao longo da rampa. A vazão de efluente foi regulada por meio de registro instalado na entrada da tubulação de distribuição. A coleta de efluente tratado pela rampa foi realizada por meio de uma canaleta instalada no final da rampa. A vegetação de cobertura utilizada foi à gramínea Tifton 85 (*Cynodon sp*), escolhida por ter como característica resistir a solos encharcados e resistir tanto ao frio como ao calor. O sistema encontra-se implantado junto à Estação de Tratamento de Efluentes localizada no bairro da “Graminha”, em Limeira, SP, em área pertencente à empresa Águas de Limeira Ltda, concessionária do sistema de saneamento municipal. Os pontos de coleta das amostras compostas do efluente foram na entrada dos filtros anaeróbios, na cabeceira da rampa, nos orifícios de saída da tubulação de alimentação, a cada 5m ao longo do comprimento da rampa, e na canaleta de coleta no final da rampa. As amostras foram tipo composta, coletadas com pisseta de plástico de 500 ml. As análises foram realizadas segundo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, AWWA/APHA/WF, 19ª ed., 1995.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 1, 2, 3 e 4 apresentam os resultados dos parâmetros avaliados do esgoto bruto, do efluente anaeróbio, e do efluente da rampa nas taxas de aplicação de 0,10; 0,20; 0,30 e 0,40 m<sup>3</sup>/h.m respectivamente.

O pH no sistema permaneceu neutro durante todo o período de operação. A remoção de nitrogênio avaliada para o sistema de disposição controlada no solo foi mais eficiente com a taxa de aplicação 0,20m<sup>3</sup>/h.m que resultou em uma remoção de 88% em NTK (N-orgânico + N-NH<sub>3</sub>).

O sistema apresentou valores de Nitrato abaixo de 1mg/L para todas as taxas estudadas atendendo a Legislação para o lançamento de efluentes (10mg/L).

A remoção de DBO pelos filtros concordaram com os resultados amplamente divulgados na literatura (Araújo, 1999). Os resultados indicam que o sistema requer um polimento para atingir uma remoção mínima de 80% ou 60 mgO<sub>2</sub>/L. O polimento deste efluente pelo sistema de escoamento superficial resultou em dados satisfatórios para todas as taxas de operação. Como todo sistema anaeróbio tem baixa remoção de Nitrogênio e Fósforo, os resultados dos filtros concordaram com as pesquisas já realizadas. Entretanto, o escoamento superficial apresentou ótima remoção em Fósforo proporcionando a maior remoção na taxa 0,20m<sup>3</sup>/h.m reduzindo a concentração a 1,2 mg/L, que é um valor aceitável para lançamento de efluentes nos rios.

Tabela 1 - Resultados médios dos parâmetros físico-químicos do sistema de tratamento de esgoto na taxa 0,10m<sup>3</sup>/h.m no escoamento superficial

Parâmetros	Esg. Bruto	Efl. Anaer.	C/C <sub>0 efl. anaer.</sub>	Efl. Rampa	C/C <sub>0 efl. rampa</sub>	C/C <sub>0 Total</sub>
pH	7,20	7,26	---	7,47	---	---
DQO <sub>Total</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	878,73	393,15	0,45	116,42	0,30	0,13
DQO <sub>Filtrada</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	225,95	137,95	0,61	61,20	0,44	0,27
DBO <sub>Total</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	353,00	163,57	0,46	33,26	0,20	0,09
DBO <sub>Filtrada</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	134,80	77,57	0,58	22,60	0,29	0,17
SST (mg/L)	338,34	100,75	0,30	39,78	0,40	0,12
NTK (mg/L)	48,48	45,73	0,94	12,76	0,28	0,26
N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	20,53	25,93	---	6,97	0,27	0,34
Nitrito (mg/L)	NA	NA	---	NA	---	---
Nitrato (mg/L)	NA	NA	---	NA	---	---
Fósforo (mg/L)	5,56	3,86	0,69	0,60	0,16	0,11

Tabela 2 - Resultados médios dos parâmetros físico-químicos do sistema de tratamento de esgoto na taxa 0,20m<sup>3</sup>/h.m no escoamento superficial

Parâmetros	Esg. Bruto	Efl. Anaer.	C/C <sub>0 efl. anaer.</sub>	Efl. Rampa	C/C <sub>0 efl. rampa</sub>	C/C <sub>0 Total</sub>
pH	6,93	7,00	---	7,20	----	---
DQO <sub>Total</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	923,37	389,20	0,42	74,72	0,19	0,08
DQO <sub>Filtrada</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	307,28	150,62	0,49	46,75	0,31	0,15
DBO <sub>Total</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	364,38	117,89	0,32	20,29	0,17	0,06
DBO <sub>Filtrada</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	115,86	50,32	0,43	13,75	0,27	0,27
SST (mg/L)	298,19	120,52	0,40	24,33	0,20	0,08
NTK (mg/L)	92,53	49,44	0,53	11,07	0,22	0,12
N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	26,28	29,26	---	6,64	0,23	0,25
Nitrito (mg/L)	0,231	0,087	0,38	0,016	0,18	0,07
Nitrato (mg/L)	0,602	0,402	0,67	0,305	0,76	0,51
Fósforo (mg/L)	8,26	6,22	0,75	1,12	0,18	0,14

Tabela 3 - Resultados médios dos parâmetros físico-químicos do sistema de tratamento de esgoto na taxa 0,30m<sup>3</sup>/h.m no escoamento superficial

Parâmetros	Esg. Bruto	Efl. Anaer.	C/C <sub>0</sub> efl. anaer.	Efl. Rampa	C/C <sub>0</sub> efl. rampa	C/C <sub>0</sub> Total
pH	6,76	6,83	---	6,97	---	---
Alc. Total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	171,90	188,85	---	131,53	---	---
DQO Total (mgO <sub>2</sub> /L)	968,50	509,25	0,53	197,00	0,39	0,20
DQO Filtrada (mgO <sub>2</sub> /L)	340,50	200,74	0,59	100,25	0,50	0,29
DBO Total (mgO <sub>2</sub> /L)	377,50	189,76	0,50	67,52	0,36	0,18
DBO Filtrada (mgO <sub>2</sub> /L)	164,60	75,62	0,46	24,67	0,33	0,15
SST (mg/L)	280,19	125,76	0,45	26,20	0,21	0,09
NTK (mg/L)	85,90	64,81	0,75	33,41	0,52	0,39
N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	33,64	26,74	0,79	20,87	0,78	0,62
Nitrito (mg/L)	0,066	0,049	0,74	0,042	0,86	0,64
Nitrato (mg/L)	0,130	0,121	0,93	0,309	---	---
Fósforo (mg/L)	12,38	7,59	0,61	2,74	0,36	0,22

Tabela 4 - Resultados médios dos parâmetros físico-químicos do sistema de tratamento de esgoto na taxa 0,40m<sup>3</sup>/h.m no escoamento superficial

Parâmetros	Esg. Bruto	Efl. Anaer.	C/C <sub>0</sub> efl. anaer.	Efl. Rampa	C/C <sub>0</sub> efl. rampa	C/C <sub>0</sub> Total
pH	6,94	7,00	---	7,23	---	---
DQO Total (mgO <sub>2</sub> /L)	1158,30	581,73	0,50	234,43	0,40	0,20
DQO Filtrada (mgO <sub>2</sub> /L)	346,70	281,60	0,81	122,80	0,44	0,35
DBO Total (mgO <sub>2</sub> /L)	332,50	215,36	0,67	56,00	0,26	0,17
DBO Filtrada (mgO <sub>2</sub> /L)	162,75	75,63	0,46	24,67	0,33	0,15
SST (mg/L)	532,00	300,00	0,56	69,33	0,23	0,13
NTK (mg/L)	61,45	51,12	0,83	30,80	0,60	0,50
N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	20,03	25,58	---	22,54	0,88	---
Nitrito (mg/L)	0,076	0,063	0,83	0,032	0,51	0,42
Nitrato (mg/L)	0,048	0,005	0,10	0,000	0,00	0,00
Fósforo (mg/L)	9,63	9,32	0,97	3,32	0,36	0,34

As Figuras 1 a 11 indicam os resultados dos valores médios do pós-tratamento utilizando o método do escoamento superficial.

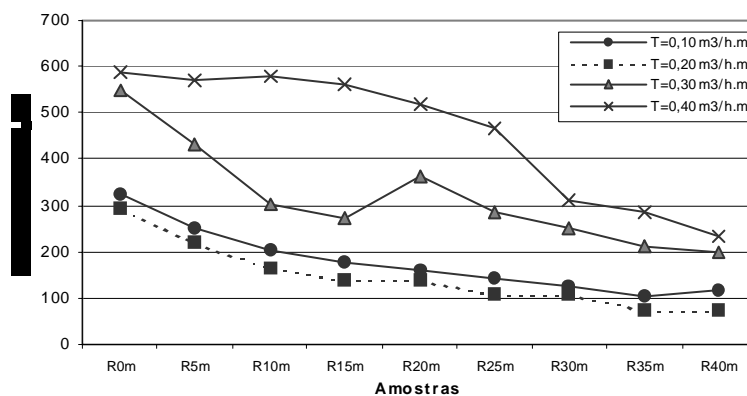


Figura 1 - Valores médios de DQO<sub>total</sub> ao longo da rampa do sistema de escoamento superficial

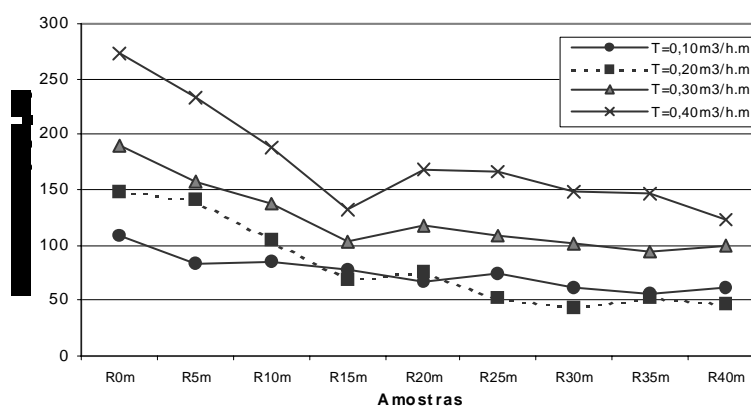


Figura 2 - Valores médios de DQO<sub>filtrada</sub> ao longo da rampa do sistema de escoamento superficial

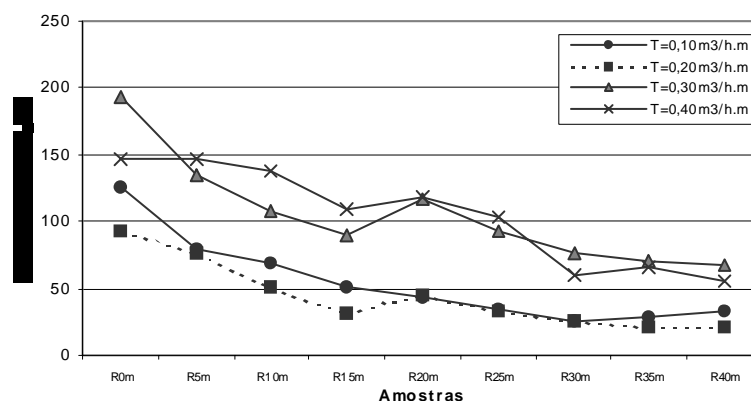


Figura 3 - Valores médios de DBO<sub>total</sub> ao longo da rampa do sistema de escoamento superficial

Ao longo da rampa os valores de DBO ficaram abaixo de 60mgO<sub>2</sub>/L para as taxas 0,10; 0,20 e 0,40m<sup>3</sup>/h.m, exceto a taxa 0,30m<sup>3</sup>/h.m (67mgO<sub>2</sub>/L), atendendo a legislação em vigor.(Figuras 1 a 4)

Até os primeiros 15 metros de rampa, a remoção foi acentuada para todos os parâmetros avaliados. (Figuras 1 a 5, 7 e 11)

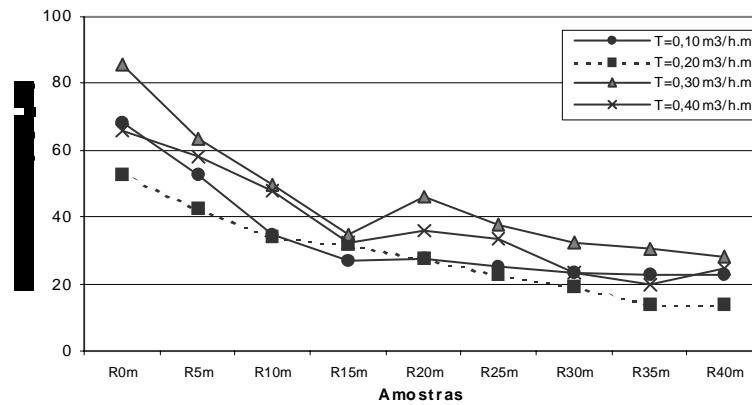


Figura 4 - Valores médios de DBO filtrada ao longo da rampa do sistema de escoamento superficial

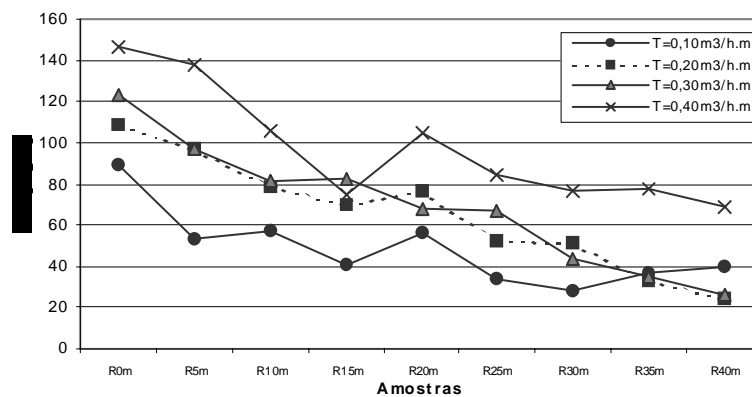


Figura 5 - Valores médios de Sólidos Suspensos Totais (SST) ao longo da rampa do sistema de escoamento superficial

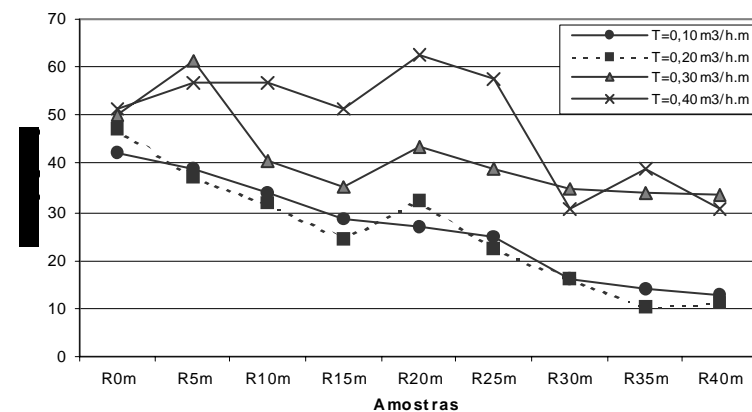


Figura 6 - Valores médios de Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) ao longo da rampa do sistema de escoamento superficial

A remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl foi satisfatória para todas as taxas de operação atingindo remoção aproximada de 60% para as taxas de aplicação 0,10 e 0,20 m³/h.m e, 30% para as demais taxas.

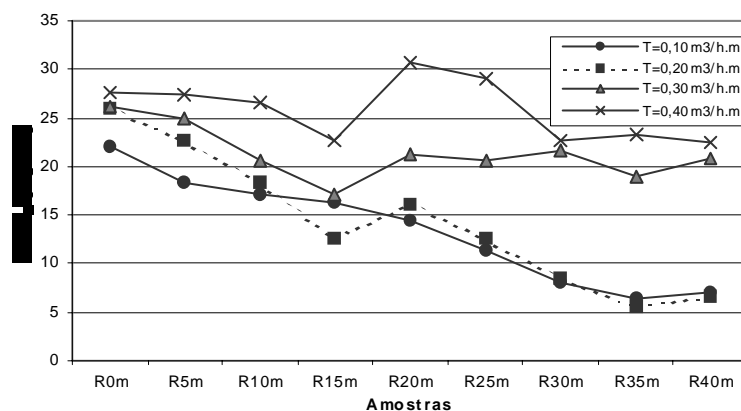


Figura 7 - Valores médios de Nitrogênio Amoniacoal ( $\text{N-NH}_3$ ) ao longo da rampa do sistema de escoamento superficial

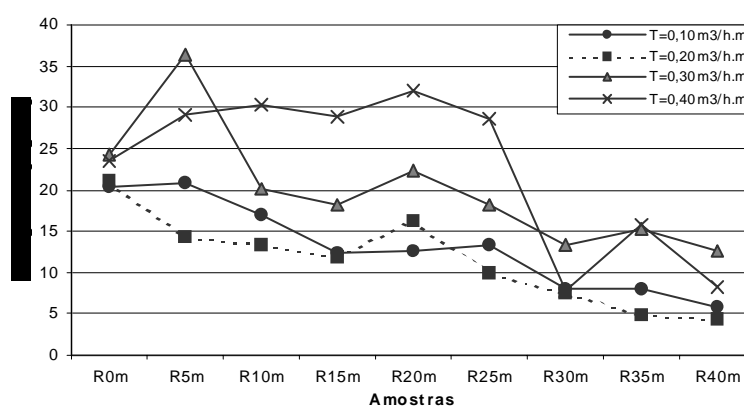


Figura 8 - Valores médios de Nitrogênio Orgânico ( $\text{N-orgânico}$ ) ao longo da rampa do sistema de escoamento superficial

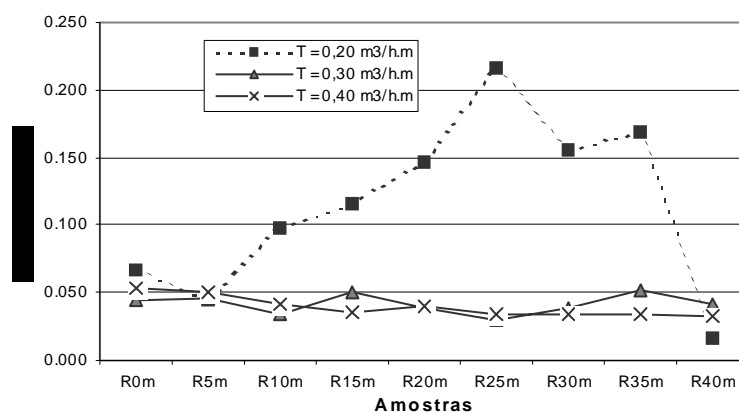


Figura 9 - Valores médios de Nitrito ao longo da rampa do sistema de escoamento superficial



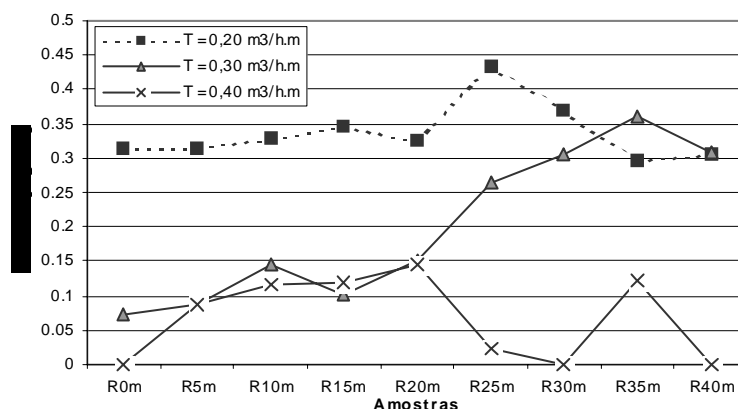


Figura 10 - Valores médios de Nitrato ao longo da rampa do sistema de escoamento superficial

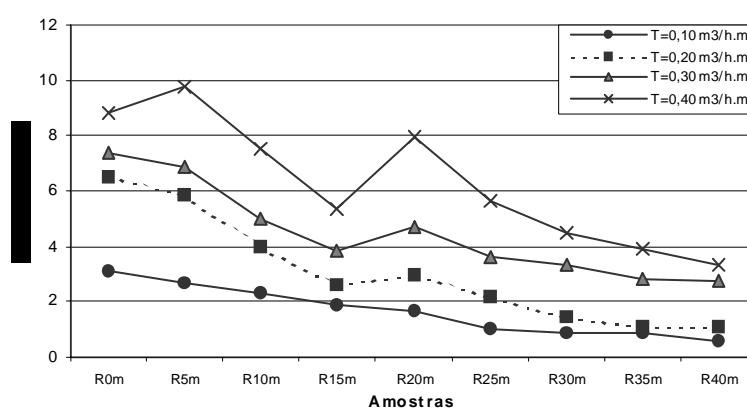


Figura 11 - Valores médios de Fósforo ao longo da rampa do sistema de escoamento superficial

Ao longo da rampa a melhor taxa de operação para a remoção de Fósforo foi a de  $0,20 \text{ m}^3/\text{h.m}$ , com remoção de 86%. Observa-se na Figura 11, que a remoção do Fósforo ocorreu em toda a extensão da rampa para todas as taxas de aplicação.

## CONCLUSÃO

Verificou-se que o sistema, de forma geral, satisfaz os objetivos iniciais do projeto, apresentando-se como uma solução viável para o tratamento de efluentes. O pós-tratamento do sistema, utilizando a disposição no solo, complementou a depuração efetuada pelo conjunto de filtros anaeróbios quanto a fatores como carga orgânica e teor de sólidos, e veio à acrescentar no estudo da depuração de nutrientes no esgoto, uma vez que os reatores anaeróbios tentem a apresentar certa deficiência neste campo.

Na análise da eficiência dos filtros, principalmente em relação aos parâmetros clássicos como DBO e DQO, pode-se verificar que apesar de seu bom desempenho, o mesmo não consegue satisfazer as exigências da legislação brasileira (CONAMA 20, 1993), justificando assim a adoção de um sistema de pós-tratamento. Verifica-se de modo geral, que a eficiência da rampa aumenta de acordo com o comprimento, sendo que a partir dos 20 metros, ocorre uma eficiência gradativa até o final da rampa, atendendo os parâmetros da legislação de forma satisfatória. Recomenda-se por estes resultados a manutenção de rampas com a extensão de 40 metros, pois a remoção de Nitrogênio e Fósforo é gradativa até final da rampa, reduzindo seu impacto negativo nos corpos d'água.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Águas de Limeira S/A, pelo apoio na realização das atividades de campo, e aos órgãos financiadores desta pesquisa: FINEP, CNPq, CAPES, FAPESP e Caixa Econômica Federal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA; AWWA; WPCF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19.ed. Washington D. C.1995.
- ARAÚJO, G.C. **Avaliação do Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores UASB através de um Sistema de Aplicação Superficial no Solo**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. Belo Horizonte, 1998.
- CAMPOS, J. R. *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*. Cap. 2 e 5, 1º ed., Rio de Janeiro: ABES, 1999, 464p.
- CETESB (1993) *Legislação federal: controle da poluição ambiental* (Atualizado até fevereiro de 1993). – São Paulo. 243p
- CORAUCCI FILHO, B. **Tratamento de Esgotos Domésticos no Solo pelo Método do Escoamento Superficial**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica, USP, São Paulo, 1992
- CORAUCCI FILHO, B.; NOUR, E.A.A.; FIGUEIREDO, R.F.; STEFANUTTI, R.; BERTON, R.S.; MATTIAZZO, M.E. Disposição controlada no solo de esgotos sanitários utilizando o método do escoamento superficial: determinação de parâmetros para implantação de um sistema. Anais: Prosab, 1999. Bases conceituais da disposição controlada de águas residuárias no solo. In: Campos, J.R. (coordenador). *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*. Rio de Janeiro : ABES, 1999. p. 232-244.
- CHERNICHARO, C. A. L. – *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Reatores Anaeróbios – Sistema UASB – Aplicação no Solo* , Volume 5 – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA – Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – 1997 – Belo Horizonte – MG – págs: 230 - 234;
- FINEP, <http://www.finep.gov.br/Prosab/esgoto.htm>, 2001.
- GILDE, L.C. ; KESTER, A.S. ; LAW, J.P. ; NEELEY, C.H. AND PARMELEE, D. M. A spray irrigation system for treatment of cannery wastes. *Journal Water Pollution Control Federation*, 43 (10): 2011-2025, 1971.
- ZEEMAN, G.; LETTINGA, G. The Role of Anaerobic Digestion of Domestic Sewage in Closing The Water and Nutrient Cycle at Community Level. *Water Science Technologic*, v. 39, n. 5, p. 187-194, 1999.
- METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse*. 3. ed.. 1991. Onsite Wastewater Treatment and Disposal System. Design Manual. U.S. Environmental Agency. EPA. 1980. p.113-140.
- OVERCASH, M.R.; COVIL, D.M.; GILLIAM, J.W.; WESTERMAN, P.W. and HUMENIK, F.J. Overland flow pretreatment of poultry manure. **Journal Environmental Engineering Division**, v.104, n.2, p 339-230, 1978
- PAGANINI, W.S. (1997). Disposição de Esgotos no Solo (Escoamento à Superfície). AESABESP. São Paulo. 232p.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Process design manual: land treatment of municipal wastewater. Technology Transfer. Cincinnati. 1981