

# Remoção de matéria orgânica, fósforo e nitrogênio de esgotos domésticos utilizando o processo de lagoa de taxa alta

## MARCELO A. TEIXEIRA PINTO

Engenheiro Químico, chefe da Divisão de Tratamento de Esgotos da Coesb —  
Cia. de Água e Esgotos de Brasília

## MARINA TOCIE ONOYAMA

Engenheira Civil, chefe da Divisão de Pesquisa de Tratamento da Coesb

*São apresentados os resultados obtidos do monitoramento do sistema piloto para tratamento de esgotos através de lagoa de alta taxa. Esse sistema é considerado um processo de tratamento de baixo custo que, maximizando a utilização da energia solar, possibilita uma maior absorção de nutrientes dos esgotos, se comparado ao sistema de lagoas convencional. O presente trabalho define a profundidade da lagoa, a taxa de aplicação e o tempo de retenção a serem utilizados para o uso deste processo como tratamento avançado de esgotos (remoção de fósforo e nitrogênio).*

A busca de novas tecnologias que possibilitem soluções de baixo custo, adaptadas a condições locais, tem sido largamente incentivada e tratada como linha prioritária para o saneamento básico e o desenvolvimento regional do País. A utilização de lagoas de estabilização para tratamento de esgotos tem sido exemplo de solução barata, principalmente em países em desenvolvimento, devido ao baixo custo de implantação, a não utilização de energia elétrica, a facilidade operacional e a efetiva remoção de microorganismos patogênicos.

Apesar da simplicidade, diversos problemas de ordem operacional são costumeiramente relatados, como a infestação de mosquitos, mau cheiro e outros. Esses fatores, acrescidos da necessidade de grandes áreas e a reduzida remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo, desqualificariam este processo de tratamento para regiões como as bacias do Paranoá e São Bartolomeu (DF) (Figura 01), sem que seus efluentes sejam obrigatoriamente exportados para outra bacia. Tal situação geralmente requer grandes custos de investimento, muitas vezes do mesmo montante que a utilização de tratamento terciário convencional.

Entretanto, uma das modalidades da lagoa de estabilização, a Lagoa de Alta Taxa, possibilita uma série de vantagens se comparada ao sistema convencional. Dentre elas podemos citar a pouca acumulação de lodo no reator, ausência de odor, ausência de mosquitos, nível terciário de tratamento devido a alta produtividade primária, *amônia stripping* e coagulação/precipitação do fosfato (Azov et al. 1987; Miller 1977; Oron and Shelef 1982; Shelef and Azov 1987; Bogan et al 1960; Santos et al 1987). Isso é possível devido aos altos níveis de pH e OD alcançados no reator durante a fotossíntese, a "juventude" da população algal, e a constante movimentação do líquido. Tais reações são otimizadas nesta modalidade do processo pela redução da profundidade da lagoa, maximizando a utilização da luz solar pelas algas, e portanto possibilitando a aplicação de cargas mais altas de DBO e maior assimilação de nutrientes pelas vias metabólicas da biomassa.

As lagoas de Alta Taxa têm sido estudadas desde a década de 60 nos EUA. Nos últimos anos, esse processo de tratamento tem sido extensivamente pesquisado em Israel, onde as condições climáticas e as restrições de água, energia e terras disponíveis levaram à utilização e ao desenvolvimento deste conceito. (Shelef and Azov, 1987). Outros países, como Portugal e EUA, também utilizam essa modalidade de processo (Pinheiro et al 1987).

Assim, com o objetivo de testar essa tecnologia para ser empregada como opção para o tratamento dos esgotos das bacias do Paranoá e São Bartolomeu, foi construída uma unidade piloto de Lagoa de Alta Taxa, a qual vem sendo operada desde outubro de 1988. O estudo prevê duas fases distintas, quais sejam, a definição das condições operacionais como carga, profundidade e tempo de retenção que maximizem a remoção de nutrientes e a definição da tecnologia para a separação da biomassa algal do efluente da lagoa. O presente trabalho apresenta apenas os resultados da 1ª fase do projeto.

## PRINCÍPIOS TEÓRICOS

O processo de estabilização da matéria orgânica e remoção de nutrientes utilizando lagoas de alta taxa tem como princípio básico a maximização da produção de biomassa (principalmente algas) através da melhor utilização da energia luminosa.

Tal fato é assegurado pelas pequenas profundidades da lagoa e a constante movimentação da biomassa algal através de um sistema de rotor com palhetas. Este sistema proporciona velocidade e mistura no líquido ao longo do reator, sem no entanto ocasionar turbulência que provoque ressuspensão de lodo. Estudos em Israel têm apontado que uma velocidade de

fluxo em carrossel da ordem de 10 cm/s é suficiente para alcançar este objetivo (Shelef and Azov, 1987).

Além dos processos metabólicos de oxidação da matéria orgânica e assimilação dos nutrientes do meio, outros processos de natureza físico-química também contribuem para o processo global de remoção. O fosfato, por exemplo, pode ser precipitado e a amônia volatilizada devido aos altos níveis de pH alcançados durante a fotossíntese (Bogan et al 1960; Azov and Shelef 1987).

Recentes pesquisas têm demonstrado que os principais fatores que afetam a taxa de remoção de bactérias patogênicas em lagoas de estabilização são a temperatura, o pH e a concentração de algas. Outros, como a penetração da radiação ultravioleta na coluna d'água e o elevado nível de oxigênio dissolvido, também são citados como contribuintes para o processo de inativação dessas bactérias (Pearson et al 1987).

Todas essas reações se processam de maneira mais rápida e eficiente, alcançando valores mais elevados na lagoa de alta taxa que em um sistema de lagoas convencionais devido a maior "juventude" das algas e a maior produtividade primária.

A produtividade primária, por sua vez, pode ser definida por fatores ambientais e operacionais (Oron and Shelef 1982). Os principais fatores ambientais envolvidos no processo são a radiação solar e a temperatura; porém tais parâmetros são de difícil domínio, o que impede qualquer ação nesses fatores com respeito ao controle do processo. Por outro lado, a profundidade da lagoa e o tempo de retenção são parâmetros operacionais que possibilitam a intervenção no processo, permitindo assim sua otimização.

Assim, Oron e Shelef (1982) sugeriram que a produtividade poderia ser estimulada pela equação abaixo: -

$$Y = K (T_r / z)^a S^b T^c$$

Onde:

Y = Produtividade (g/m<sup>2</sup>.d)

Tr/Z = Tempo de retenção/profundidade (dias/m)

S = Radiação solar (cal/cm<sup>2</sup>.d)

T = Temperatura (°C)

K, a, b, c, = Constantes

O perfil climatológico do Distrito Federal durante o ano é mostrado no Gráfico 1. A região possui um verão chuvoso e um inverno seco; porém, a radiação solar e a temperatura permanecem virtualmente constantes durante todo o ano, não apresentando significativas variações. Tais particularidades encorajam a utilização deste processo, uma vez que possibilitam condições ambientais para o funcionamento do sistema durante todo o ano.

Assim, assumindo que as variações ambientais não são significativas, é possível considerar que a maior remoção de nutrientes ocorrerá na condição operacional Tr/Z que permitir a maior produtividade. Entretanto, à luz da equação acima, essa situação é alcançada na maior relação Tr/Z que se possa operar o sistema. Porém, tal situação acarreta a necessidade de maior área e, conseqüentemente, maiores custos, sem citar a falta de nutrientes para os mecanismos do processo se Tr/Z ----oo. Desse modo, o que será buscado no presente trabalho é a condição operacional Tr/Z que alcance o desempenho necessário a evitar o aporte de nutrientes acima da capacidade de depuração de um corpo receptor, sem que isso implique em custos desnecessários.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A unidade piloto é constituída de gradeamento, medidor de vazão e reator (lagoa) propriamente dito. Para a movimentação da massa líquida, o sistema possui dois motores conjugados com palhetas e um variador de velocidade.

A lagoa possui 13,5m de comprimento, 4m de largura dividida em 4 canais paralelos em fluxo carrossel, perfazendo uma área superficial de

54m<sup>2</sup>, conforme mostrado nas figuras 2 e 3. o sistema possui flexibilidade operacional para operar com profundidade entre 0,25m a 0,50m.

Os esgotos afluentes lagoa oriundam da ETEB-Norte, após o tratamento preliminar da Estação. As condições operacionais dos experimentos são apresentados no Quadro 1. As vazões médias-diárias mostradas naquele quadro são referentes às vazões noturnas (2 l/min durante 14 horas) combinadas com as vazões diurnas (durante 10 horas) característica de cada experimento.

As amostragens para as análises físico-químicas foram feitas conforme Pearsontal (1987), são mostradas no Quadro 2 e processadas de acordo com o Standard Methods — 16<sup>th</sup> Ed.-AWWA — WPCF. As análises que necessitavam de filtração foram efetuadas em papel de filtro Whatmann — GF/C para garantir que as algas ficassem retidas.

## RESULTADOS

As características médias dos esgotos afluentes são mostradas no Quadro 3 e podem ser consideradas com pequena variação. Os valores médios das análises físico-químicas de cada experimento são mostrados nos anexos I e II.

### DQO

O Gráfico 2 apresenta o desempenho do sistema com respeito à carga de DQO aplicada. Verifica-se uma inflexão na curva para cargas ao redor de 700 kg/ha.d, independente da profundidade que foi operada a lagoa. Este valor equivale a TR/Z = 8, conforme mostrado no Gráfico 3 o que representa uma massa efluente de 84 kg DQO/ha.d pelo Gráfico 4 seguinte. O Gráfico 5 mostra que com o tempo de retenção acima de 4 dias, a remoção de DQO é estabilizada em níveis ao redor de 88%. Desse modo, a seguinte condição operacional parece ser a mais adequada para operar a lagoa nas condições locais, considerando-se apenas a remoção de DQO:

- tempo de retenção mínimo = 4 dias
- profundidade = 0.50 m
- carga = 700 kg DQO/ha.d

### Nitrogênio

O Gráfico 6 mostra a eficiência do sistema com respeito a carga de nitrogênio total aplicada. A queda na eficiência é verificada a partir de cargas maiores que 40 kg TKN/ha.d. As remoções se mostram dependentes da profundidade com que a lagoa é operada, estabilizando-se em cerca de 70% para Z = 0.35 m, 88% para Z = 0.45 m e para Z = 0,50 m. Pelo Gráfico 7 seguinte, esta carga equivale a uma relação TR/Z = 9.5. Assim, utilizando-se a profundidade que apresenta a melhor performance, ou seja, Z = 0.50 m, teremos um tempo de retenção de 4,8 dias. Conforme mostrado no Gráfico 8, isto representa um efluente de 4,4 kg TKN/ha.d. Assim, para uma segura remoção de nitrogênio as seguintes condições operacionais devem ser respeitadas.

### Fósforo

O desempenho do sistema no tocante à carga de fósforo total é apresentada no Gráfico 9. Existe nítida dependência da profundidade entre as cargas aplicadas e as remoções observadas. Com taxas abaixo de 5,5 kg Pt/ha.d existe uma estabilização na ordem de 88% para Z = 0,45 m 79% para Z = 10.8, o que produz um efluente de 0,7 kg Pt/ha.d, conforme mostrado no Gráfico 11.

Utilizando-se a profundidade que apresentou o melhor desempenho ( $Z = 0,45$ ) encontra-se pelo Gráfico 12 o tempo de retenção que maximiza a remoção de fósforo ou seja, 4,9 dias. Assim, a melhor condição operacional para a remoção de fósforo, parece ser:

- tempo de retenção mínima = 4.9 dias
- profundidade = 0,45 m
- carga = 5,5 kg Pt/ha.d

### Alga predominante

Durante todos os experimentos o gênero de alga predominante foi *Microcystium* em números que variam de  $36 \times 10^6$  a  $1110 \times 10^6$  organismos/litro. Nos testes onde a profundidade foi de 0,35 m, outros tipos de algas como *Scenedesmus* e *Chlorella* também apareceram, porém em número muito pequeno.

### Bacteriologia

A concentração de coliformes fecais do efluente da lagoa varia de  $5,0 \times 10^3$  a  $2,3 \times 10^4$  NMP/100 ml, o que corresponde a remoções na ordem de 99,99% a 99,95%. Tais valores são de mesma ordem de grandeza que os encontrados em lagoas facultativas convencionais.

## DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Apesar da simplicidade como o sistema é apresentado na prática, o mecanismo de depuração biológica da lagoa e alta taxa envolve uma complexidade de parâmetros ainda carecedores de um melhor entendimento. Dentro do objetivo deste trabalho, ou seja, a definição das condições operacionais de profundidade, tempo de retenção e taxa de aplicação, é possível delinear algumas linhas mestras que possibilitam o projeto preliminar de um sistema desta natureza para as condições ambientais semelhantes ao Distrito Federal. É claro, entretanto, que um segundo passo deste trabalho é necessário ser dado, para se conseguir entender todas as transformações que ocorreram com esses nutrientes dentro do reator. Os dados coletados são suficientes para efetuar esse balanço e serão discutidos posteriormente, em outro trabalho. Este desenvolvimento possibilitará inclusive a otimização do processo em pauta.

Com os dados até o momento manuseados, podemos concluir que, quando o objetivo é apenas a remoção de matéria orgânica, o tempo de retenção mínimo deve ser de 4 dias podendo ser aplicada uma carga de até 700 kg DQO/ha.d., utilizando uma profundidade de 0,50 m.

Por outro lado, quando se torna necessário tratamento terciário (remoção de fósforo e nitrogênio), o tempo de retenção mínimo deve ser de cerca de 5 dias, com taxa de aplicação de 400 kg DQO/ha.d e o sistema operado a uma profundidade de 0,45 m. Assim, utilizando esgotos domésticos com as características mostradas no Quadro 3 e nas condições operacionais descritas acima, seria produzido um efluente com as concentrações apresentadas no Quadro 4, que, quando comparadas às concentrações normalmente verificadas em lagoas facultativas convencionais, nos dão o exato valor do desempenho deste processo.

A taxa de aplicação de 400 kg DQO/ha.d encontra-se na mesma ordem de grandeza da taxa de aplicação usada em projeto de lagoas facultativas convencionais (220 kg DBO/ha.d). Assim, com a mesma área utilizada para construção de um tratamento secundário convencional de baixo custo, é possível se ter um tratamento a nível terciário, também de baixo custo, acoplando-se a este um seguro processo para a remoção da biomassa algal, como um sistema de floculação/flotação, ou filtração. Mais ainda, o processo de tratamento de esgotos usando lagoa de alta taxa com poli-

mento final ficaria algumas vezes mais barato, em investimento e operação, que um sistema de tratamento terciário convencional e praticamente com custos semelhantes a um sistema de lagoas de estabilização convencional.

Desse modo, este processo vislumbra ser um eficiente método para o tratamento de esgotos das cidades satélites de Sobradinho e Planaltina, e mesmo na própria bacia do Lago Paranoá e outras satélites se soluções descentralizadas forem adotadas. (ver Figura 1).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 — Abeliovich, A (1980) Factor limiting algal growth in High Rate oxidation Ponds Algal Biomass, North — Holland Biomedecal Press, G. Shelef and C. J. Solders Editors.
- 2 — Azov, v. and Shelef, G. (1987) The Effects of pH on the performance of High Rate oxidation ponds, *Water Science Technology*, vol. 19, nº 12, pp. 381-383.
- 3 — Bartsch A. F. (1961). Algal as a source of oxygen in waste treatment. *JWPCF*, vo. 33, nº 3, pp. 239-249.
- 4 — Bogan R. H., Albertson O.E. and Pluntze J.C. (1960). Use of algal in removing phosphorus from sewage. *Journal of the Sanitary Engineering Division*, September, SA 5 pp.1-20
- 5 — Bowes. G. and Beer, S. (1987), Physiological plant processes: Photosynthesis. In *Aquatic Plants for Water Treatment and Resource Recovery* K. R. Reddy and W. H. Smith Editors, Magnolia Publishing Inc.
- 6 — Carberry, J. B. and Hershaw, F. F. (1989) Biokinetic parameters of a photosynthetic Waste Stabilization process. *Water Science Technonology*, vol. 21, Brighton, pp. 647-658.
- 7 — Do Nascimento M. J. (1987). Microorganisms removal in waste stabilization pond in Portugal, *Water Science Thechnology* vol. 19, nº 12, pp. 141-144.
- 8 — Gloyna E. F. and Tischler L. F. (1981) Recomendation for regulatory modifications: use of waste stabilization pond system. *JWPCF*, vol. 53, nº 11, pp. 1559-1563.
- 9 — Martin N. J. and Fallowfield H. J. (1989). Computer modelling of algal waste treatment systems. *Water Science Technonology*, vol. 21, Brighton, pp.1957-1960.
- 10 — Miller S., Abeliovich A. (1977). Effects of high organiz loading on mixed photosynthetic wastewater treatment. *JWPCF*, march, pp. 436-440.
- 11 — Oron G., Shelef G. (1982) Maximizing algal yield in high rate oxidation ponds. *Journal of the Environmental Division* vol. 108 nº EE4, August, pp. 730-737.
- 12 — Pearson H. W., Mara D.D. and Bartone C.R. (1987) Guidelines for the minimum evaluation of the performance of full-scale waste stabilization pond systems. *Water Research*, vol. 21, nº 9, pp. 1067-1075.
- 13 — Pearson H. W. et. al (1987). Water column sampling as rapid and efficient method of determining effluent quality and the performance of waste stabilization pond. *Water Science Technology*, vol. 19, pp. 109-113.
- 14 — Pearson H. W. Mara, D.D., Mills, S. W. (1987) Phisico Chemical paramenters influencing faecal bacteria survival in waste stabilization pond. *Water Science Technonology*, vol. 19 nº 12 pp. 145-152.
- 15 — Pinheiro, H. M. Reis M. T., Novais J. M. (1987). A study of the performance of a high rate photosynthetic ponds system. *Water Science Technonology*, vol. 19 nº 12, pp. 237-242.
- 16 — Santos M. C. R. and Oliveira J. F. S. (1987) Nitrogen transformation and removal in waste stabilization ponds in Portugal. *Water Science Technonology*, vol. 19, nº 12, pp. 123-130.
- 17 — Sawyer C. (1962). Causes, Effects and Control of Aquatic Growths. *JWPCF*, vol. 34, nº 3, pp. 279-288.
- 18 — Shelef G. and Azov Y. (1987) High rate oxidation ponds. The Israeli experience. *Water Science Technology*, vol. 19, nº 12, pp. 249-255.



Figura 2  
Esquema das instalações de tratamento

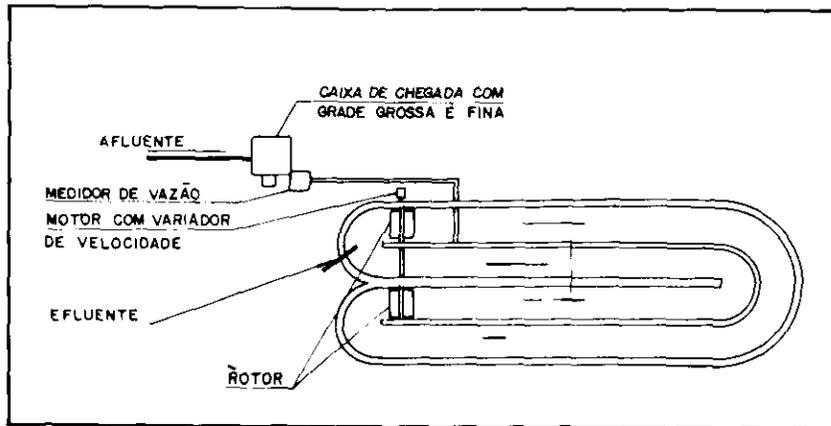
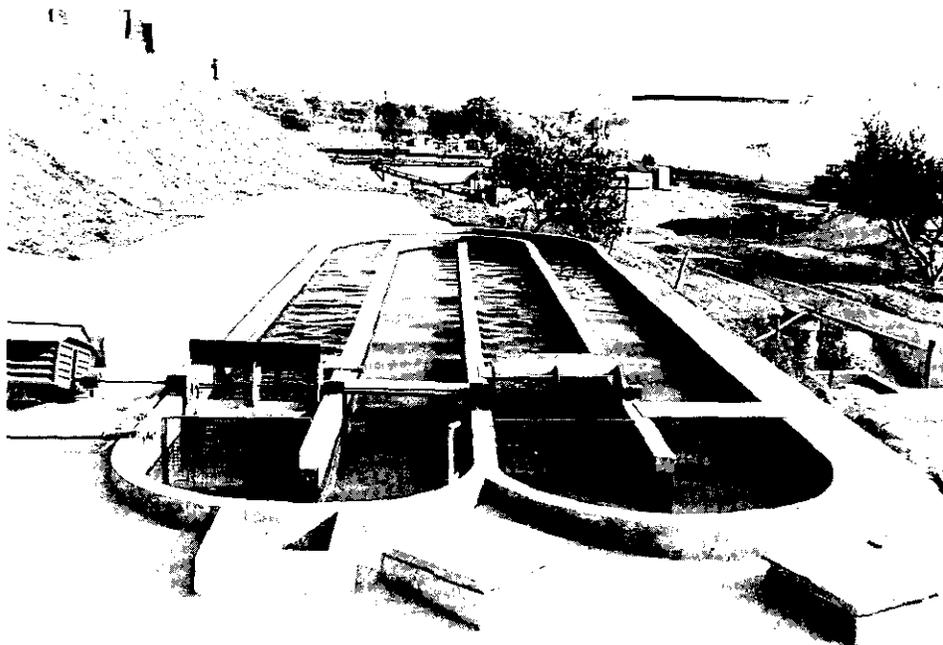
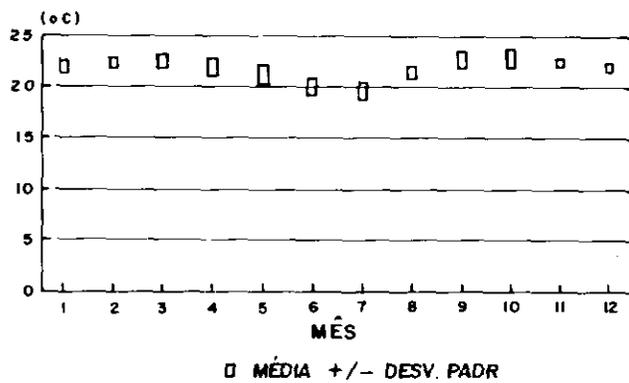


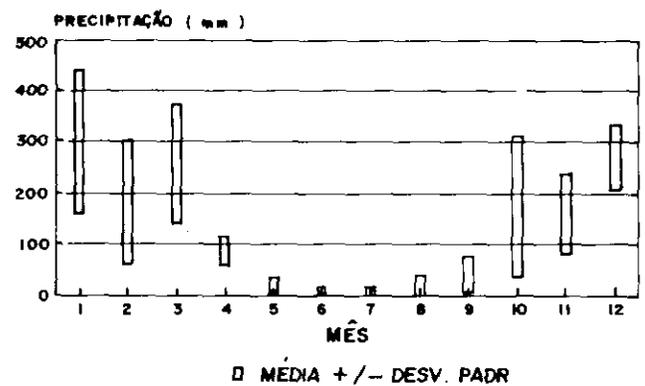
Figura 3  
Vista geral do experimento



TEMPERATURAS MÉDIAS



PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA



## RADIAÇÃO SOLAR

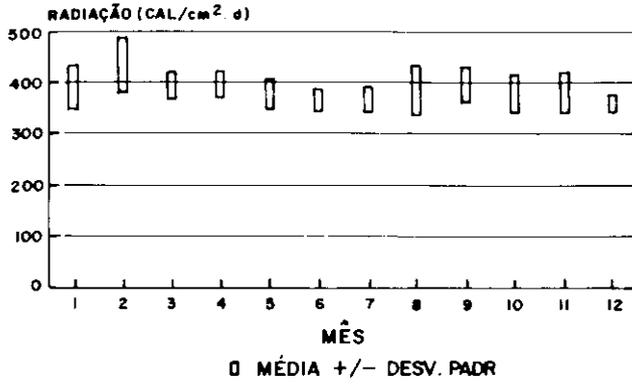
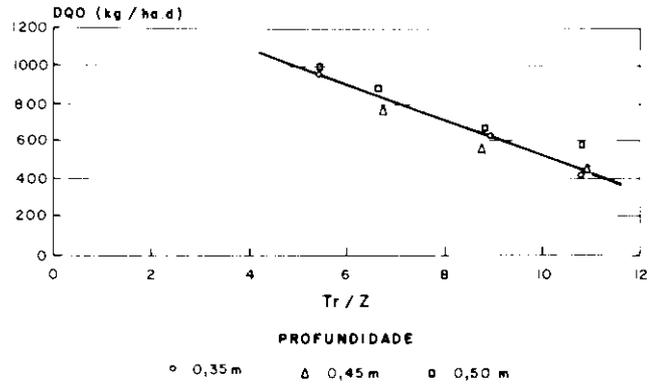


Gráfico 3  
DQO afluente



## INSOLAÇÃO

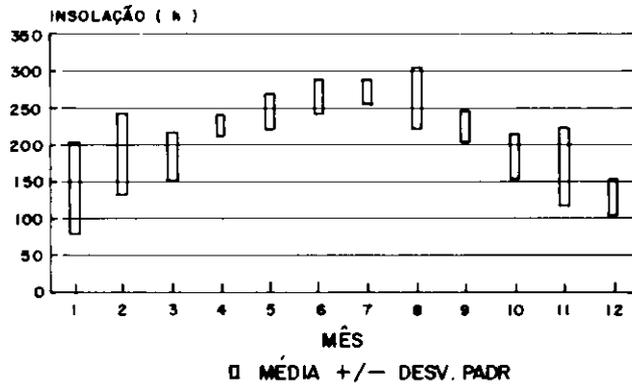


Gráfico 4  
DQO solúvel efluente

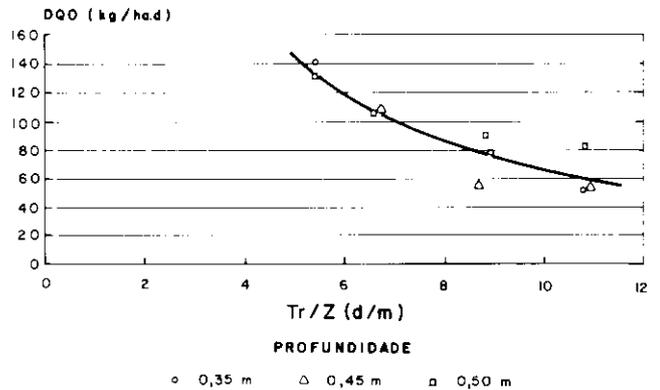


Gráfico 2  
Remoção de DQO

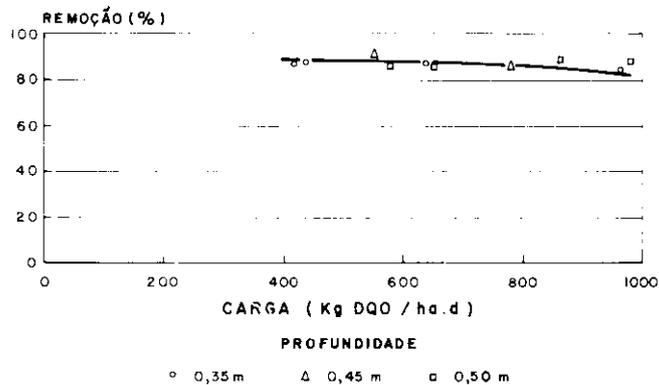
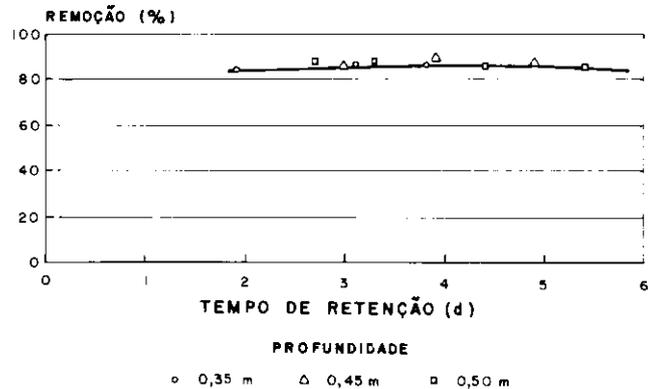
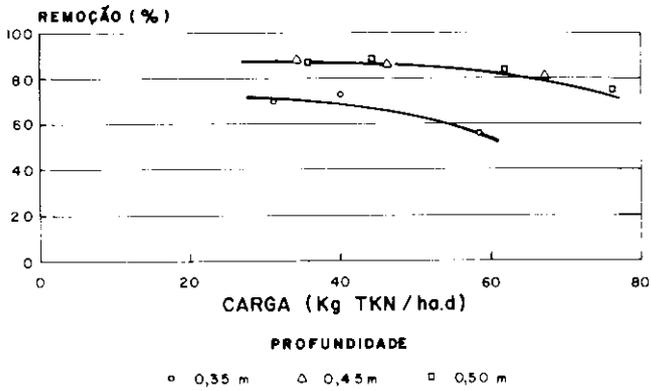


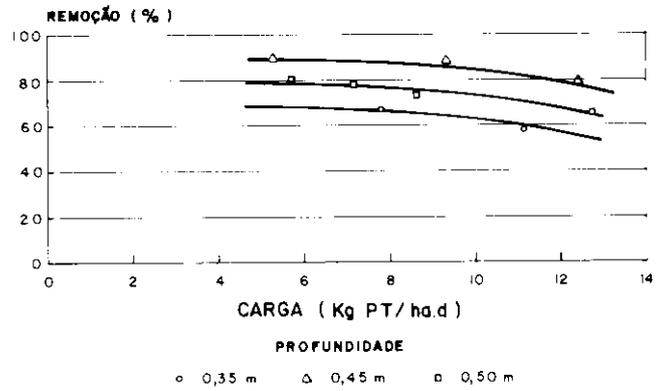
Gráfico 5  
Remoção de DQO



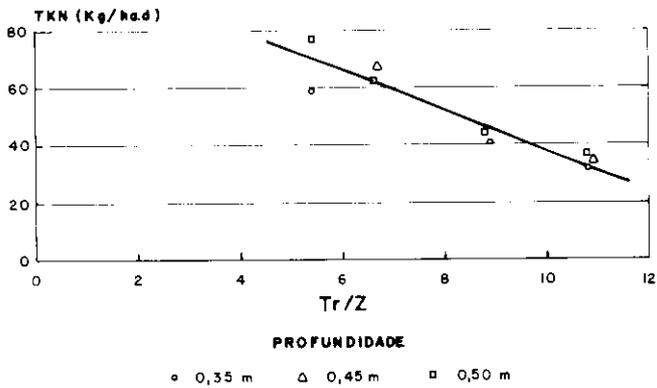
**Gráfico 6**  
Remoção de TKN



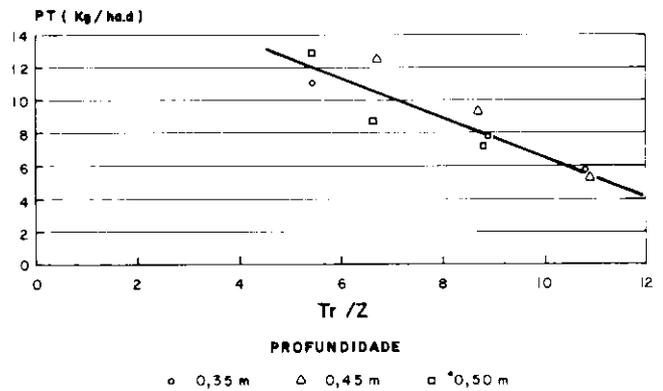
**Gráfico 9**  
Remoção de fósforo



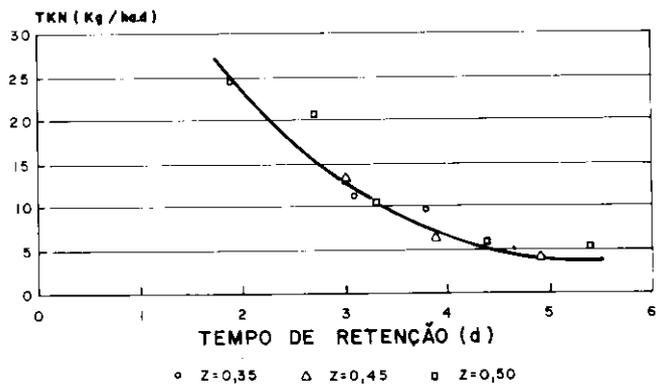
**Gráfico 7**  
TKN afluente



**Gráfico 10**  
Fósforo total efluente



**Gráfico 8**  
TKN solúvel efluente



**Gráfico 11**  
Fósforo total solúvel afluente

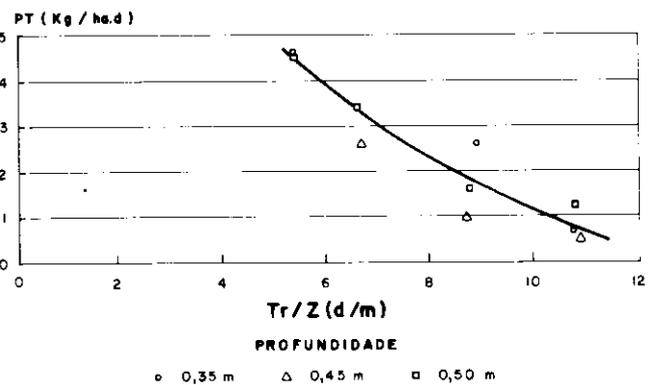
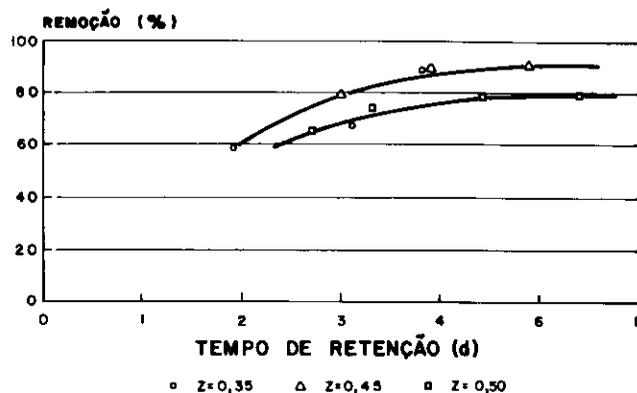


Gráfico 12  
Remoção de fósforo



Anexo I  
Concentrações

EXPERIMENTO	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11
AFLUENTE (mg/l)										
DQO	450	555	526	472	480	520	534	575	567	622
NIT. AMONIAICAL	21,56	20,36	14,9	16,91	22,06	18,9	18,2	21,7	21,8	19,2
NITROG. TOTAL	33,6	34,71	31,92	36,95	40,26	44,8	41,5	41,2	38,5	38,5
FOSFORO TOTAL	6,16	6,79	6,05	5,65	8,08	8,24	6,91	5,74	6,21	6,2
EFLUENTE (mg/l)										
DQO	350	167	331	304	343	373	231	340	407	426
SST	179	89	128	198	321	204	142	200	242	238
SSV	160	85	123	192	299	200	142	195	227	225
NIT. AMONIAICAL	7,46	9,05	9,32	4,45	3,7	4,55	12,2	8,2	6,1	3
NITROG. TOTAL	28,93	24,5	29,12	17,92	23,1	20,28	29,2	23,1	22,4	20
NITRATO	0,2	0,24	0,19	0,21	0,15	0,18	0,15	0,17	0,2	0,1
FOSFORO TOTAL	3,74	5,15	4,25	5,15	4,93	6,35	4,3	4,09	4,04	5,47
ORTOFOSFATO	0,03	1,07	1,46	0,09	0,24	0,62	1,43	0,28	0,71	0,7
DQO SOLUVEL	57	69	77	58	49	72	71	71	77	87
TKN SOLUVEL	10,3	9,8	13,44	4,54	5,6	8,8	11,2	7	5	5,6
FOSFORO TOTAL SOL.	0,72	2,29	2,51	0,62	0,85	1,7	2,43	1,52	1,4	1,39
OPERACAO										
VAZAO (m3/d)	5	6,2	9,9	5	6,2	8,1	9,9	8,1	6,2	5
PROFUNDIDADE(m)	0,35	0,35	0,35	0,45	0,45	0,45	0,5	0,5	0,5	0,5
TEMPO DE RETENCAO(d)	3,8	3,1	1,9	4,9	3,9	3	2,7	3,3	4,4	5,4

Anexo II  
Massas

EXPERIMENTO	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11
MASSA AFLUENTE (kg/ha.d)										
DQO	417	637	964	437	551	700	979	862	651	576
TKN	31,1	39,9	58,5	34,2	46,2	67,2	76,1	61,8	44,2	35,6
PT	5,7	7,8	11,1	5,2	9,3	12,4	12,7	8,6	7,1	5,7
MASSA EFLUENTE (kg/ha.d)										
DQO	53	79	141	54	56	100	130	106	89	81
TKN	9,5	11,3	24,6	4,1	6,4	13,2	20,6	10,5	5,8	5,1
PT	0,7	2,6	4,6	0,5	1	2,6	4,5	3,4	1,6	1,2