



II-246 – AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE LEITO CULTIVADO COM A MACRÓFITA *Sagittaria montevidensis* Cham e Schtdl. PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS URBANAS POLUÍDAS COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Denise Teixeira Bregunce⁽¹⁾

Bióloga pela Universidade do Grande Rio (UNIGRANRIO), mestre do Curso de Mestrado Profissional em Gestão Ambiental da Universidade Positivo – UP

Selma Aparecida Cubas⁽²⁾

Professora Titular do Mestrado Profissional em Gestão Ambiental e do Curso de Engenharia Civil da Universidade Positivo – UP. Engenheira Civil pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná e Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos – EESC – USP

Leila Teresinha Maranhão⁽³⁾

Professora Titular do Curso de Mestrado Profissional em Gestão Ambiental e do Curso de Ciências Biológicas da Universidade Positivo – UP. Bióloga pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR), Mestre em Botânica pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) e doutora em Ciências Florestais pela UFPR

Bruno Vitor Veiga⁽⁴⁾

Professor Titular do Curso de Engenharia Civil da Universidade Positivo – UP. Engenheiro civil pela Universidade de Brasília – UNB, Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná- UFPR.

Endereço⁽²⁾: Rua Professor Viriato Parigot de Souza, 5300. Campo Comprido. CEP 81280-330. Curitiba-PR. Tel. 55 (41) 3317-3277. Fax 55 (41) 3317-3082. e-mail: selmacubas@up.edu.br

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar um sistema de leito cultivado com macrófitas *Sagittaria montevidensis* para tratamento de águas urbanas poluídas com águas residuárias, visando à remoção de matéria orgânica carbonácea. Para o desenvolvimento do estudo, foi feita a avaliação das águas do Ribeirão dos Müller, utilizando os mesmos parâmetros de monitoramento adotados para o sistema de tratamento. Essas análises foram necessárias para caracterizar a água utilizada no sistema. Os parâmetros analisados indicaram um elevado grau de poluição com valores de $1,14 \pm 0,94$ mg/L para OD, $329,36 \pm 351,22$ mg/L para SDT, $250,82 \pm 186,48$ mg/L para DQO, $1,55 \pm 0,04$ mg/L para Pb. Para Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes os resultados alcançaram $16 \times 10^6/100$ mL e $10 \times 10^6/100$ mL, respectivamente, com presença de *Escherichia coli*. O sistema foi monitorado e operado em duas etapas e constituiu-se basicamente de captação, poço de sucção, recalque, reservatório de distribuição e o leito cultivado construído em uma piscina em fibra de vidro de 2,80 m de diâmetro e 0,85 m de altura. A distribuição do fluxo e as camadas filtrantes dentro do sistema cultivado foram ascendentes, conforme descrito a seguir: uma camada (base) de brita número 5 com 30 cm de espessura (camada inferior), uma de porcelana com 2,5 cm, uma de brita número 2 com 15 cm de altura, mais uma de porcelana com 2,5 cm e, como última camada (camada superior), foi colocada areia média, com 15 cm de espessura que serviu de suporte para a planta. O tempo de detenção hidráulica (TDH) do sistema foi de 10 h e vazão de 3.600 L/d. A eficiência global no sistema em (DQO) foi correspondente a $63,76 \pm 14,30$ %, na primeira etapa e $61,32 \pm 21,17$ % na segunda etapa, o pH apresentou variação de 5,8 a 8,9 entre a primeira e a segunda etapa, com estabilidade em alcalinidade e ácidos voláteis. Enfim, o sistema mostrou-se indicado para o tratamento de águas urbanas poluídas, como é o caso do Ribeirão dos Müller, por apresentar características de um ambiente natural um bom aspecto paisagístico, visto que a macrófitas utilizada é comum em leitos de rios do município.

PALAVRAS-CHAVE: Leito cultivado, águas residuárias, qualidade da água.

INTRODUÇÃO

A má utilização dos recursos naturais pela população resulta em poluição ambiental, que vem a ser uma alteração ocorrida nas características físicas, químicas ou biológicas do ar, do solo ou da água, podendo gerar prejuízo à saúde, à sobrevivência ou às atividades dos seres humanos. No Brasil, entre os principais impactos



à água, principalmente superficiais, está o lançamento de esgotos sanitários e industriais sem tratamento, resultado do elevado grau de urbanização que gera sérios problemas de degradação ambiental, e, colocando em risco a saúde da população (TUNDISI, 2005).

O Ribeirão Müller situa-se na região oeste do município de Curitiba, é um dos mais importantes afluentes do Rio Barigüi, que pertence à Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu. Corta vários bairros da cidade e atravessa todo o Campus da Universidade Positivo. Está enquadrado, segundo a Portaria da antiga Superintendência de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Estado do Paraná (SUREHMA) Nº 92 de 20 de setembro de 1992, artigo 1º, inciso VII, como classe 3, pois localiza-se a jusante do Parque Barigui e atravessa áreas industriais e de grandes centros urbanos.

Para minimizar a situação de degradação em que se encontra o Ribeirão dos Müller, foi construído um sistema piloto de tratamento com a macrófita, *Sagittaria montevidensis* que foi chamado, neste trabalho, de Leito Cultivado.

O sistema de tratamento com macrófitas pode ser desenvolvido de forma natural ou artificial, construído pelo homem. Sistema natural é um termo utilizado para definir grandes áreas (habitats) úmidas, conhecidas por várias denominações: banhados, pântanos, brejos, zonas alagadiças. Nessas áreas podem ocorrer inundações periódicas ou permanentes, assim, o solo saturado propicia um ambiente favorável para o desenvolvimento de plantas aquáticas, microrganismos e animais (ANJOS, 2003). O sistema construído é uma alternativa para tratamento de águas residuárias de origem doméstica, agrícola e industrial (DIAS, 2006). Esse sistema é, geralmente, composto por filtro de pedra e areia plantado com macrófitas, com controle no tempo de detenção hidráulica (TDH) (MEYER et al., 2006). A utilização de sistema plantado de fluxo vertical construído constitui uma alternativa eficiente na prática da infiltração no solo da água residuária, gerando melhoria do efluente para liberação no meio aquático (BRIX; ARIAS, 2005).

Assim, este trabalho visou avaliar essa forma de sistema de tratamento para a melhoria da qualidade de águas urbanas altamente poluídas, como é o caso do Ribeirão dos Müller.

MATERIAIS E MÉTODOS

CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO DO SISTEMA

O sistema piloto (Fig. 1) foi constituído de captação, poço de sucção, recalque, reservatório de distribuição e o sistema construído cultivado. A captação da água do Ribeirão foi feita por uma tubulação de PVC com diâmetro nominal de 100 mm e 15 m de comprimento. Para o poço de sucção foi adotado uma manilha de concreto com diâmetro de 1,20 m, com assentamento vertical e com embasamento de rocha local, localizado à margem esquerda do Ribeirão dos Müller. A linha de recalque que conduziu a água do Ribeirão até as caixas de água foi de PVC flexível preto de 40 mm de diâmetro. A bomba de recalque usada foi da marca Schneider modelo BCS-C5. Foram dois reservatórios de armazenamento de água de 500 L cada um.

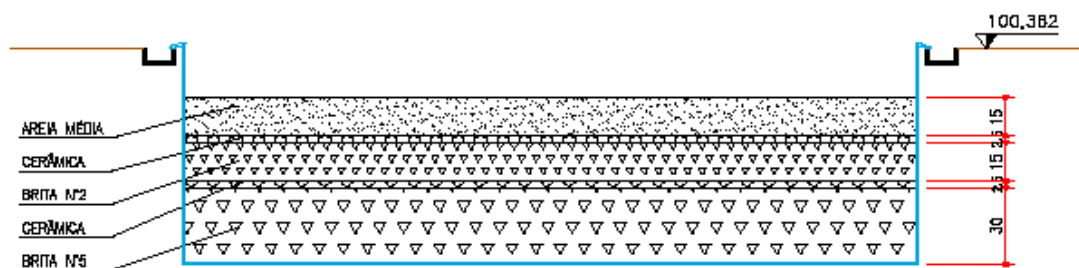
O leito cultivado foi construído em uma piscina em fibra de vidro de 2,80 m de diâmetro e 0,85 m de altura. A ligação entre o reservatório e o sistema cultivado foi feita por uma tubulação de PVC flexível de diâmetro nominal de 40 mm. A distribuição do fluxo dentro do sistema cultivado foi ascendente, através de tubulações de PVC rígido com DN 40 mm, colocadas em forma de um retângulo. Para o retorno da água do sistema cultivado para o Ribeirão dos Müller foi utilizada uma tubulação de PVC flexível com diâmetro de 100 mm



Figura 1 – Constituintes do Sistema de Leito Cultivado com a *Sagittaria montevidensis* Cham. e Schltdl.

MATERIAL FILTRANTE

As camadas filtrantes foram dispostas de forma ascendente conforme descrito a seguir: uma base de brita número 5 com 30 cm de espessura (camada inferior), uma camada de porcelana com 2,5 cm, uma camada de brita número 2 com 15 cm de altura, mais uma camada de porcelana com 2,5 cm e, como última camada (camada superior), foi colocada areia média, com 15 cm de espessura. A camada de porcelana foi utilizada para não ocorrer a colmatação do sistema substituindo a manta geotêxtil (Fig. 2)



CORTE BB' – DETALHE DOS MATERIAIS FILTRANTES
ESC. 1:20

Figura 3 - Camadas filtrantes do Leito cultivado.

PONTOS DE COLETAS DAS AMOSTRAS

Para o monitoramento foram coletadas amostras de cinco pontos: entrada do sistema, piezômetros 1, 2 e 3 e saída do sistema, conforme mostra a Fig. 4.

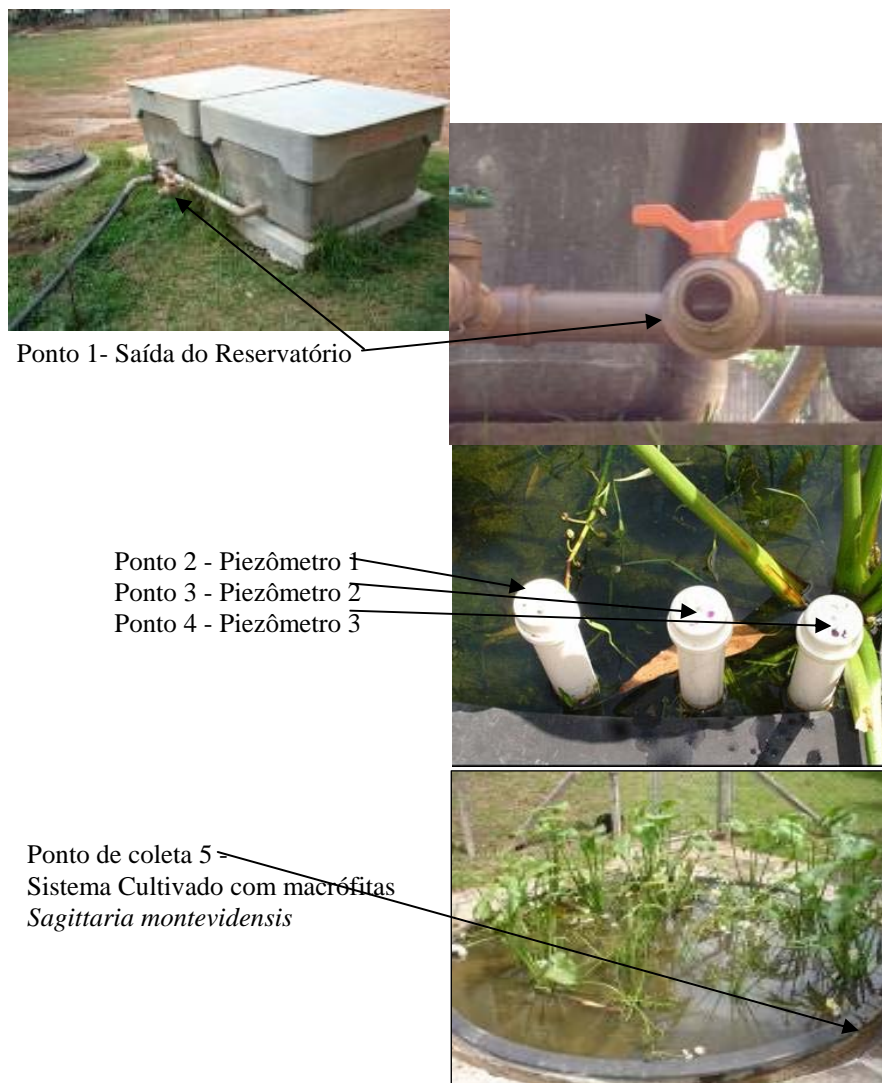


Figura 4 – Distribuição dos pontos de coleta de amostras no sistema de Leito Cultivado.

Os piezômetros, constituídos por tubos de PVC de 50 mm, foram instalados entre as camadas, assim dispostos em relação à altura: Piezômetro 1: 1 à 15 cm; piezômetro 2: 2 à 40 cm e piezômetro 3: 3 à 57,5 cm, conforme Fig. 5.

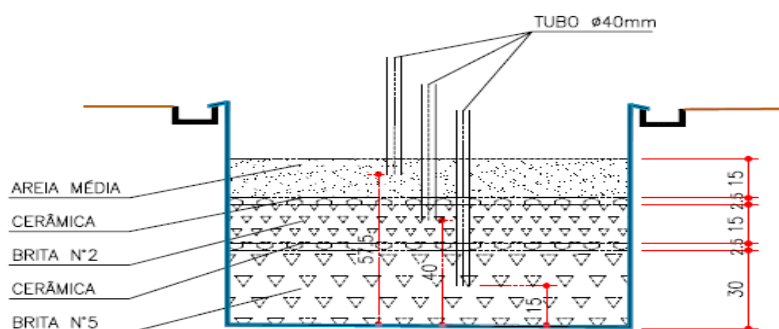


Figura 5 – Distribuição dos piezômetros nas camadas filtrantes do leito cultivado.



OPERAÇÃO E MONITORAMENTO DO SISTEMA DE LEITO CULTIVADO

O sistema de leito cultivado foi operado em duas etapas sendo utilizada com vazão contínua de 5600 L/d e TDH de 10 horas, com volume útil de 1500 L. O sistema era alimentado por gravidade e com fluxo vertical ascendente, passando pelos materiais filtrantes e pela vegetação. O efluente tratado era enviado ao Ribeirão dos Müller através de uma canaleta de concreto com 5 % de inclinação, construída ao redor do sistema.

O monitoramento do sistema foi feito em duas etapas: A primeira etapa foi realizada entre Dezembro de 2006 e Março de 2007 (período de verão), e a segunda etapa foi entre Maio e Agosto de 2007 (período de inverno).

PARÂMETROS ANALISADOS

Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados foram: temperatura, pH e Oxigênio Dissolvido (OD) (que foram obtidos no local das coletas); nitrogênio amoniacal (NH_4), fósforo (PO_4), demanda química de oxigênio (DQO), Coliformes totais (CT) e coliformes termotolerantes (CF), que seguiram as rotinas descritas no APHA (2000). Também foram feitas análises de alcalinidade total e a bicarbonato (AB), seguindo a metodologia descrita por Ripley et al. (1986) e de ácidos voláteis totais (AVT), através da metodologia descrita por Dilallo e Albertson (1961).

CARACTERÍSTICA DA ÁGUA DO RIBEIRÃO DOS MÜLLER

Análises da água do Ribeirão dos Müller foram realizadas durante o mesmo período de análises do leito cultivado. Na Tab. 1 são apresentadas as características da água do Ribeirão dos Müller utilizada como substrato.

Tabela 1 - Valores mínimos e máximos e a média aritmética, com seu respectivo desvio padrão dos parâmetros físico-químicos obtidos durante o período de avaliação.

Parâmetros	Unidade	Valores		
		Mínimo	Máximo	Média e Desvio Padrão
Cor	(uC)	10	55	26,80 ± 11,21
Turbidez	(UNT)	13,69	159	46,64 ± 34,10
T	(°C)	13,3	23,1	17,20 ± 2,24
ST	(mg/L)	100	1180	472,2 ± 324,8
STV	(mg/L)	20	680	168,9 ± 145,4
STF	(mg/L)	10	1100	315,2 ± 287,4
SST	(mg/L)	60	200	105 ± 43,14
SSV	(mg/L)	20	140	56,67 ± 39,22
SSF	(mg/L)	10	140	48,33 ± 34,93
SDT	(mg/L)	20	1.120	329,36 ± 351,22
OD	(mg/L)	0,46	3,95	1,14 ± 0,94
DQO	(mg/L)	51	676	250,82 ± 186,48
pH	pH	6,7	7,8	7,3 ± 0,24
AB	(mg CaCO_3 /L)	19,1	48,3	35,2 ± 9,12
AVT	(mg AcH/L)	18	99	37,9 ± 19,5
N	(mg NH_4 /L)	7,2	19,8	15,4 ± 3,56
P	(mg PO_4 /L)	1,4	5,8	3,93 ± 1,43

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Temperatura

Nas cinco primeiras amostras, durante a primeira etapa de monitoramento (período de verão) não foram realizadas medidas de temperatura. Entretanto, as temperaturas no líquido, em todas as amostras coletadas nos cinco pontos de monitoramento, mantiveram-se próximas a 22° C, o que está dentro da faixa mesófila de temperatura que varia entre 20 °C e 45 °C, aproximadamente. A temperatura influencia no metabolismo microbiano e afeta as taxas de oxidação das matérias carbonáceas e nitrogenadas e nesta faixa de temperatura a taxa de degradação da matéria orgânica é maior. Nesta faixa são projetados a maioria dos sistemas de tratamento. Já na segunda etapa a temperatura média do líquido manteve-se em torno de 16° C, o que representa um faixa psicrófila de temperatura que varia de 0° C a 20 °C. Nesta faixa a degradação da matéria orgânica se processa mais lentamente. Os valores de temperatura do líquido e do ar medida pelo Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), estação 25264916 localizada no centro politécnico da Universidade Federal do Paraná em Curitiba, Pr., nas duas etapas de monitoramento estão mostrados Fig. 6 e 7.

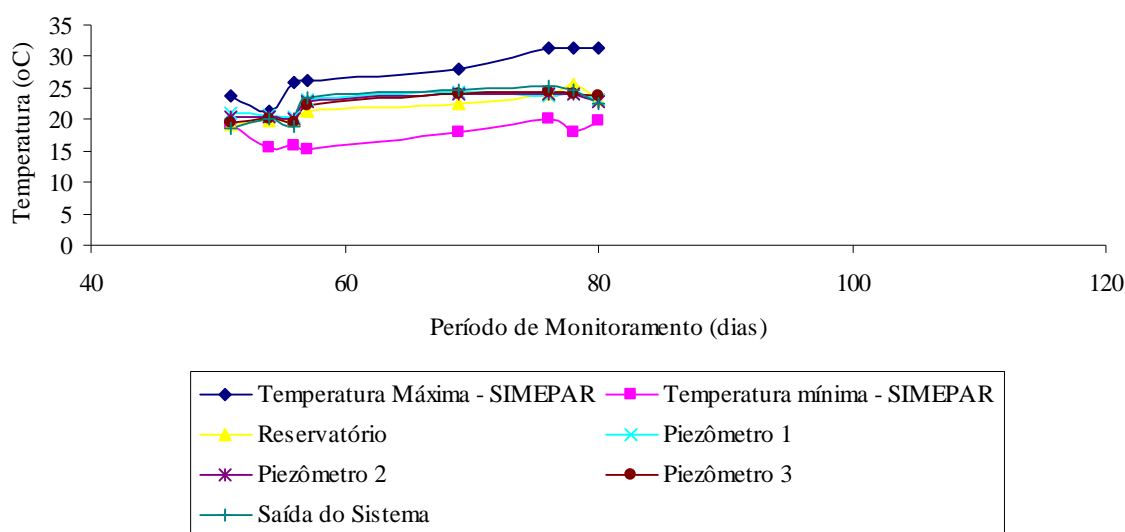


Figura 6 - Temperatura do ar (SIMEPAR) e do líquido no sistema na primeira etapa de monitoramento.

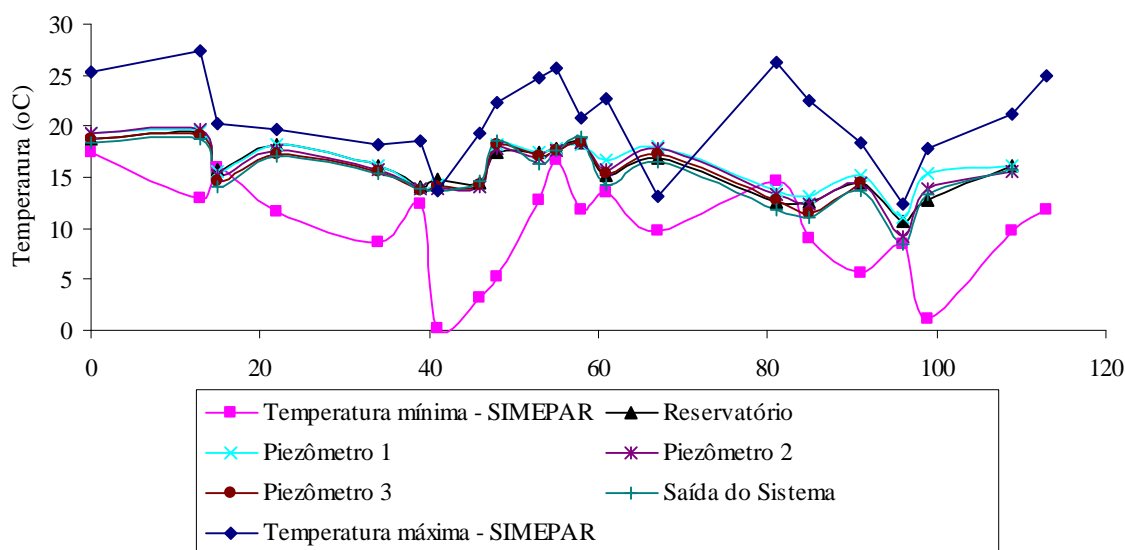


Figura 7 - Temperatura do ar (SIMEPAR) e do líquido no sistema na segunda etapa de monitoramento.



Observou-se que nas duas etapas de monitoramento a maior temperatura em relação à média foi no piezômetro 1, localizado na primeira camada do sistema (fundo do leito cultivado), composta por 15 cm de brita 5. Nesta camada, o afluente bruto passa pelos interstícios da pedra e é degradado por microrganismos anaeróbios.

As temperaturas mais baixas do líquido foram observadas na segunda etapa de monitoramento, mais precisamente entre as amostras 15 e 19 com temperaturas inferiores a 14°C. Neste período ocorreram fortes geadas e mesmo na camada superior, a qual teve um contato mais direto com o ambiente externo, as temperaturas do líquido mantiveram-se acima da temperatura mínima do ar que foi de 1,2° C. Neste caso, água conseguiu manter um valor superior a do ar, evitando o congelamento do líquido, devido ao calor específico que previne variações rápidas de temperatura e a presença das macrófitas. Este fenômeno também pode ser observado nas amostras onde a temperatura do líquido ultrapassou a temperatura máxima do ar.

Segundo Brix (1997) as macrófitas têm uma participação importante no tratamento da água, onde dentre os processos, está o isolamento da superfície em relação à geada no inverno. Para Marques (1999) no sul as baixas temperaturas no inverno tendem a uma baixa eficiência do sistema cultivado. Não foram feitas coletas no piezômetro 3 nas amostras 18, 19 e 20, pois o mesmo foi arrancado do sistema.

pH

O pH é um importante parâmetro de controle de sistemas de tratamento. Na primeira etapa de monitoramento, o pH, na entrada do sistema, manteve-se entre 6,49 e 8,17 e, na saída, o pH ficou entre 6,34 e 8,72. Na segunda etapa de monitoramento, o pH, na entrada do sistema, permaneceu entre 5,8 e 7,7 e, na saída, entre 6,6 e 8,9. Nas amostras, coletadas na saída do sistema, que apresentaram valores de pH mais elevados durante a coleta; foi observada uma coloração esverdeada e algumas folhas da macrófita *Sagittaria montevidensis* Cham. e Schltdl. em processo de senescência na lâmina de água. Também foi verificada, sobre a superfície da areia, a formação de uma camada de lodo. Os resultados de pH durante as duas etapas de monitoramento, em todos os pontos de amostragem estão apresentados na Fig. 7 e 8.

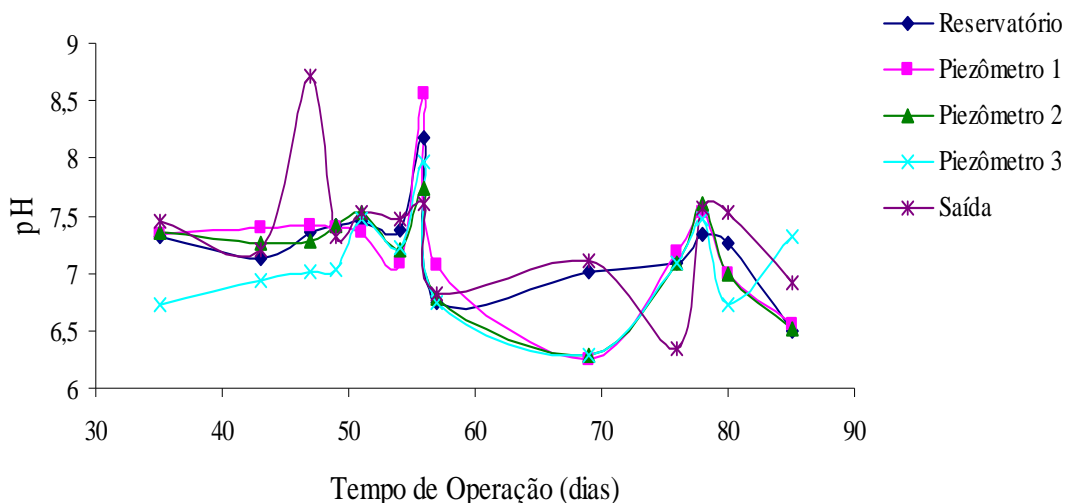


Figura 8 - Valores obtidos de pH nos pontos de amostragem, na primeira etapa de monitoramento, durante o período de operação do sistema.

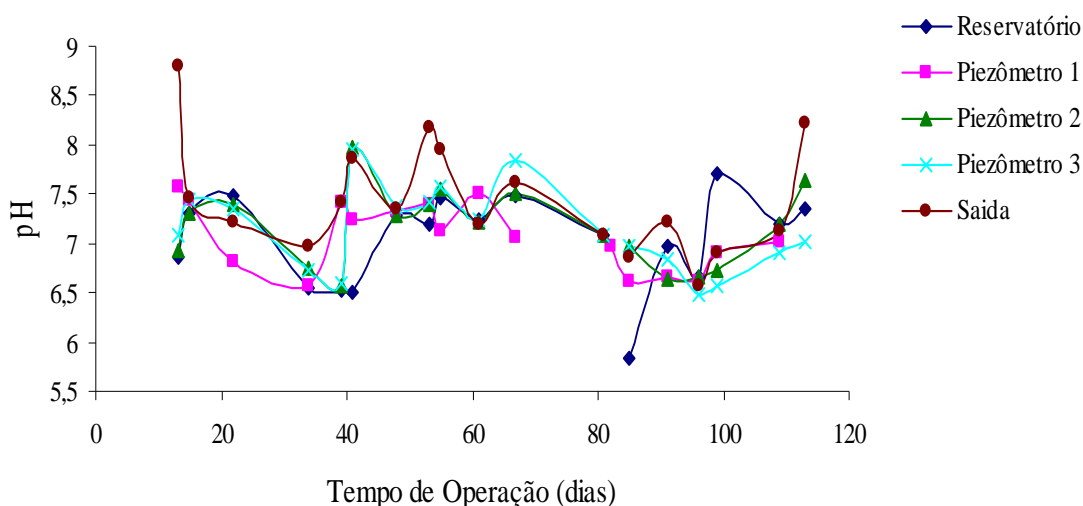


Figura 9 - Valores obtidos de pH nos pontos de amostragem, na segunda etapa de monitoramento, durante o período de operação do sistema.

Baird (2002) cita que as plantas, em seu desenvolvimento, usam os nutrientes e aumentam o pH, pois em pH mais elevado pode ocorrer a destruição de certos microrganismos prejudiciais ao seu desenvolvimento. Segundo Marques et al. (1997) e Marques (1999), em sistemas de banhados, mecanismos internos em conjunto com a atividade microbiana elevam o pH. Nas amostras onde os valores de pH foram abaixo de 6,5, as atividades biológicas associadas à macrófita conseguiram gerar alcalinidade, mantendo o efeito tampão no sistema.

Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido indica a forma de degradação da matéria orgânica dentro do sistema de tratamento. Em sistemas de leitos cultivados, como o estudado, acontece a degradação anaeróbia nos leitos filtrantes; e a aeróbia, na superfície.

As menores concentrações de OD no sistema foram nas camadas inferiores (piezômetros 1 e 2), onde a degradação é anaeróbia. A presença de OD, mesmo em concentrações muito pequenas nessas camadas, pode estar associada ao fluxo vertical e ascendente da água dentro no sistema. Na camada mais próxima da superfície (piezômetro 3), percebe-se um aumento na concentração de OD, que pode estar relacionado à presença das raízes das macrófitas.

Em sistemas cultivados com macrófitas, submetidos a longo período anaeróbio (sem a presença de oxigênio), as macrófitas aquáticas incorporam ar pelas folhas, transferem para os rizomas e raízes por meio do aerênquima (tecido vegetal) (CEBALLOS et al., 2000). Assim, permitem que o substrato ao redor do rizoma e raízes fique aeróbio, oxigenando essa região, colaborando para as reações de degradação da matéria orgânica, com o estabelecimento de microrganismos (BARRETO, 2005; OLIVEIRA et al., 2005). Na saída do sistema, a concentração de OD aumentou, passando de um sistema anaeróbio para um sistema aeróbio. O que pode estar associado a eventos como: aeração através do vento, contato com a parte atmosférica, movimentação da lâmina de água devido à chuva e ao processo de fotossíntese das algas em conjunto com as macrófitas.

As variações de concentrações de OD nas camadas, nas duas etapas de monitoramento, podem ser observadas nas Fig. 9 e 10.

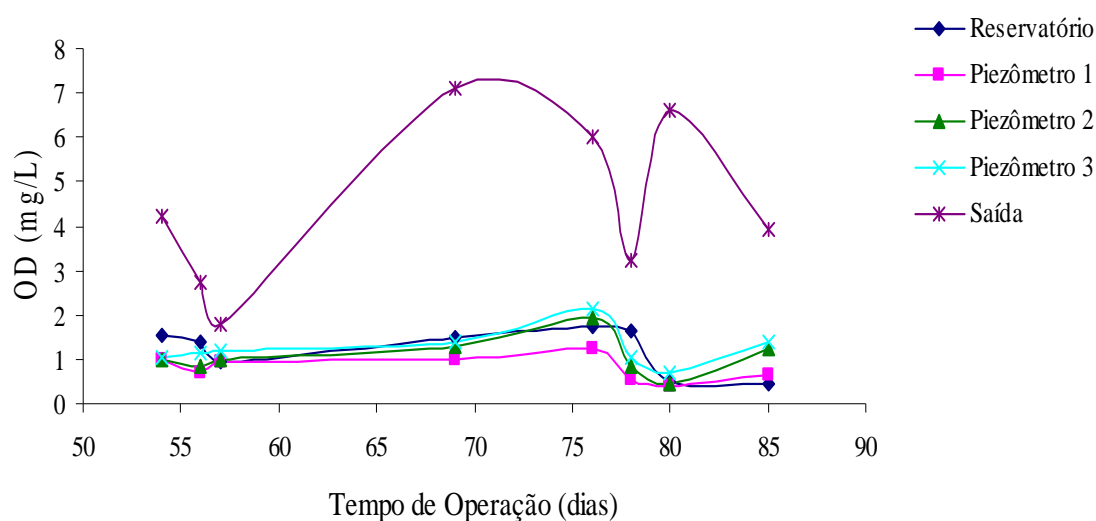


Figura 9 - Valores obtidos de OD nos pontos de amostragem, na primeira etapa de monitoramento, durante o período de operação do sistema.

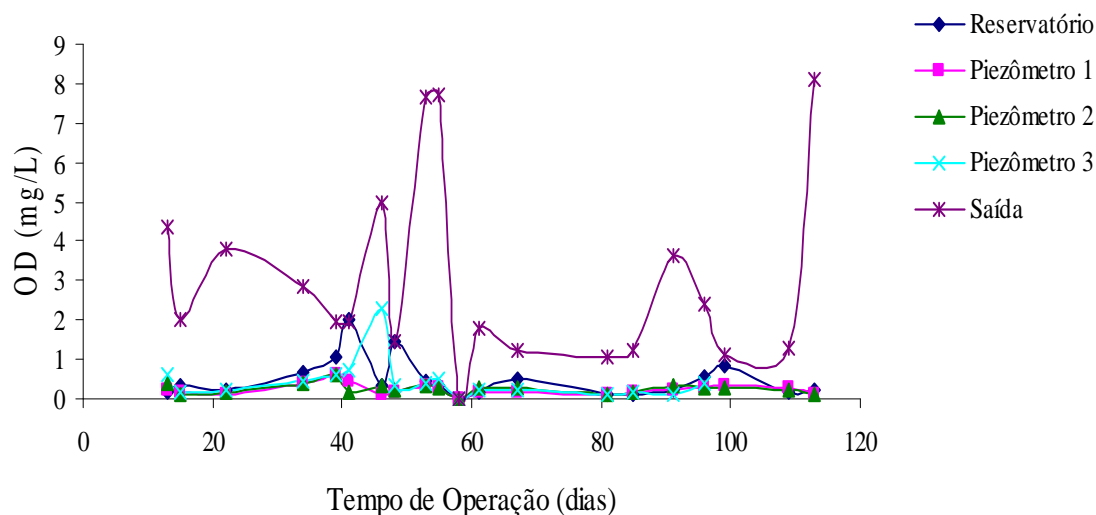


Figura 10 - Valores obtidos de OD nos pontos de amostragem, na segunda etapa de monitoramento, durante o período de operação do sistema.

Matéria orgânica, medida indiretamente pela Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Na primeira etapa, a entrada do sistema apresentou concentração média de matéria orgânica em DQO de $401,48 \pm 361,58$ mg/L, e a saída apresentou concentração média igual a $143,62 \pm 130,08$ mg/L, com eficiência média de remoção igual a $63,76 \pm 14,30\%$. Foi verificado que o sistema apresentou estabilidade entre 35º e 76º dia de operação (Fig. 11) e, mesmo com um aumento de matéria orgânica verificada no 69º dia de operação (1.343,5 mg/L), o sistema alcançou eficiência de remoção acima de 70%. Entretanto, após o 76º dia de operação, ocorreu uma poda irregular (sem autorização) e a retirada de uma macrófita de grande porte do sistema, que fez com que ocorresse o desequilíbrio, diminuindo a eficiência, principalmente na camada superior (piezômetro 3), onde estavam as raízes das macrófitas. Isto resultou na interrupção da operação do sistema, recomposição das camadas, plantio de novas mudas das macrófitas e reinício do experimento.

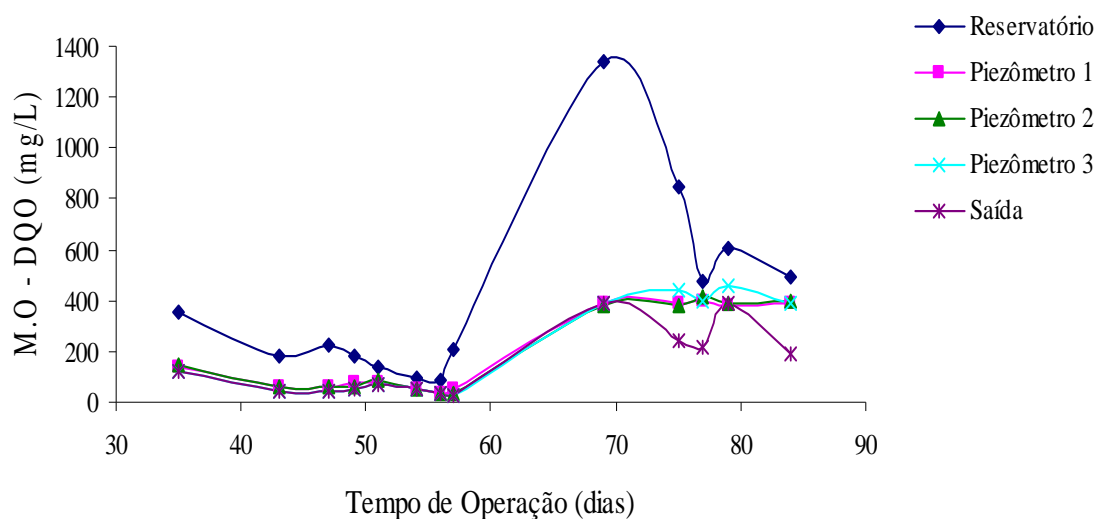


Figura 11 - Valores obtidos de concentração de matéria orgânica medida em DQO, nos pontos de amostragem, na primeira etapa de monitoramento, durante o período de operação do sistema.

A eficiência de tratamento alcançada pelo sistema em remoção de matéria orgânica, ou seja, a melhoria da qualidade da água do Ribeirão foi evidenciada com a presença de libélulas, abelhas, joaninhas, pulgões, formigas, *Daphnia* sp. e até pássaros no sistema. Os besouros, segundo Raven e Eichhron (2001), são os que fazem a polinização dessa espécie de macrófita utilizada no sistema. Valentim (1999) e Barreto (2005) também verificaram a presença de abelhas, pássaros e aranhas nos leitos cultivados. As eficiências (E) em remoção de matéria orgânica, obtidas em todos os pontos de monitoramento, na primeira etapa, foram acumulativas desde a entrada do sistema (reservatório) e estão mostradas na Fig. 12.

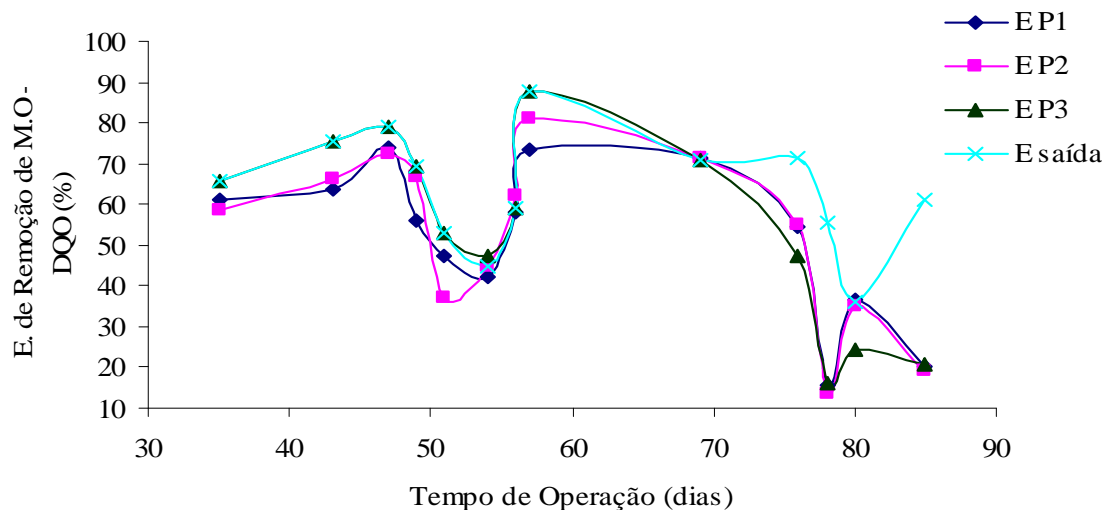


Figura 12 - Valores obtidos em eficiência em remoção de matéria orgânica medida em (DQO), nos pontos de amostragem, na primeira etapa de monitoramento, durante o período de operação do sistema.

Na segunda etapa, a entrada do sistema apresentou concentração média de matéria orgânica em DQO de $390,19 \pm 279,84$ mg/L e a saída do sistema apresentou concentração média igual a $115,88 \pm 82,73$ mg/L. Os resultados de concentração de matéria orgânica, medidos em DQO, na segunda etapa de monitoramento, estão apresentados na Fig. 13.

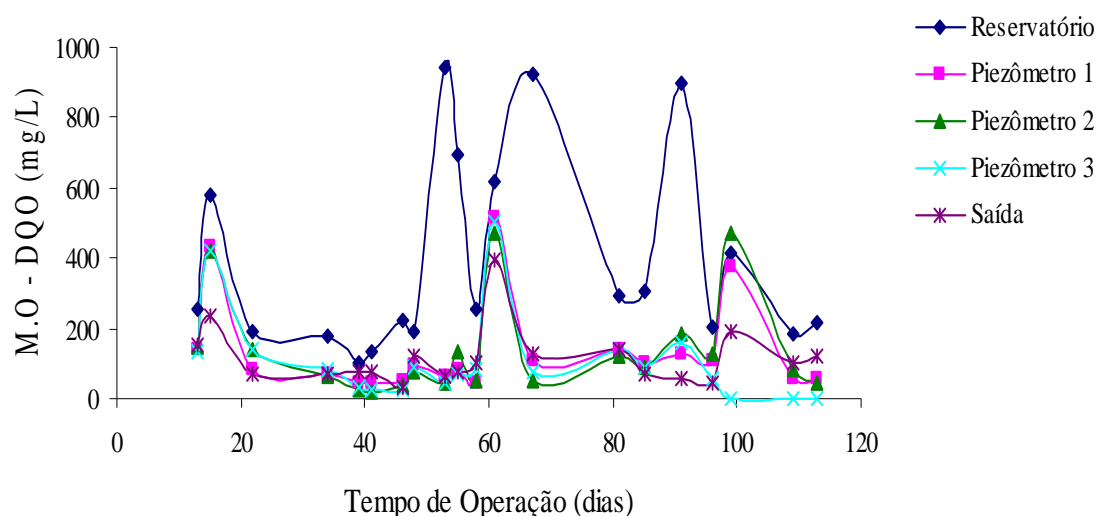


Figura 13 - Valores obtidos de concentração de matéria orgânica medida em DQO, nos pontos de amostragem, na segunda etapa de monitoramento, durante o período de operação do sistema.

Nessa etapa, foi possível verificar a estabilidade do sistema entre 22º e 58º dia de operação. No entanto, os picos de matéria orgânica ocorridos na entrada, às baixas temperaturas em que o sistema foi submetido (inverno) e os atos de vandalismo (fechamento do registro de entrada e retirada do piezômetro 3) levaram às oscilações de eficiências de remoção durante o período de monitoramento.

Apesar de todos os problemas ocorridos nas duas etapas de monitoramento, as eficiências médias de remoção obtidas foram acima de 60%, conforme Fig. 14.

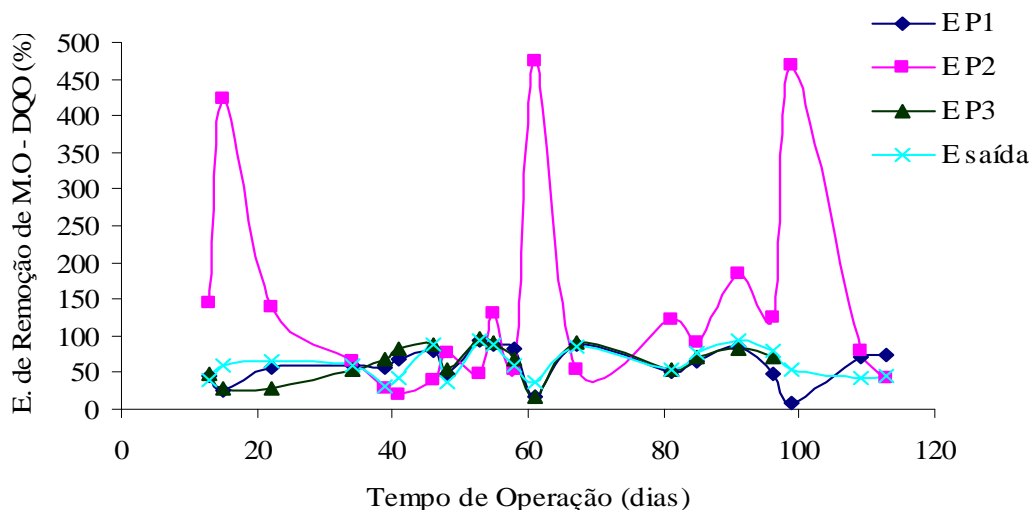


Figura 14 - Valores obtidos em eficiência em remoção de matéria orgânica medida em (DQO), nos pontos de amostragem, na segunda etapa de monitoramento, durante o período de operação do sistema.

Valores próximos ao encontrado nas duas etapas foram obtidos por Brito et al. (2005), utilizando sistema de leitos cultivados com o capim elefante (*Pennisetum purpureum*) e milho, com eficiência média de remoção de matéria orgânica em DQO igual a 53%. Barreto (2005) utilizou a *Typha* sp. e obteve 53,57% de eficiência e Presznuk (2004) obteve 81,6% de remoção em leito plantado com a espécie *Claudianum mariscus* e *Crinum salsum*.



Alcalinidade e ácidos voláteis

Em todos os pontos monitorados, nas duas etapas de monitoramento, ocorreu geração de alcalinidade. O valor médio obtido, para alcalinidade total (AT), ácidos voláteis totais (AVT) e alcalinidade à bicarbonato (AB) são relacionados na Tab. 2.

Tabela 2 Valores obtidos em concentração de alcalinidade e concentrações de ácidos voláteis, nos pontos de amostragem, nas duas etapas de monitoramento, durante o período de operação do sistema.

PONTOS DE MONITORAMENTO	AT		AB		AVT	
	1ª ETAPA	2ª ETAPA	1ª ETAPA	2ª ETAPA	1ª ETAPA	2ª ETAPA
RESERVATÓRIO	44,44 ± 21,48	61,05 ± 12,83	32,68 ± 21,91	34,65 ± 15,60	16,58 ± 9,29	37,18 ± 16,65
PIEZÔMETRO 1	52,15 ± 18,51	77,58 ± 18,07	39,97 ± 17,71	34,65 ± 15,60	17,17 ± 6,74	46,98 ± 17,29
PIEZÔMETRO 2	50,00 ± 18,03	74,98 ± 16,88	38,64 ± 16,64	48,10 ± 12,94	16,00 ± 6,18	39,53 ± 15,90
PIEZÔMETRO 3	41,74 ± 22,36	76,56 ± 21,72	28,31 ± 16,33	51,29 ± 18,41	18,92 ± 15,20	39,58 ± 17,36
SAÍDA DO SISTEMA	41,88 ± 20,37	71,17 ± 14,40	28,73 ± 20,77	47,01 ± 14,43	18,50 ± 15,39	37,86 ± 16,61

Na primeira etapa, as maiores concentrações de ácidos voláteis foram observadas no piezômetro 3 e na saída do sistema, porém a diferença de concentrações em relação aos outros pontos monitorados foi muito pequena. Na saída do sistema, os picos observados na geração de ácidos voláteis podem ter sido ocasionados pelo fechamento do registro e pelas folhas mortas em processo de decomposição.

Na segunda etapa, os ácidos totais voláteis apresentaram picos em várias amostras, nos diferentes pontos analisados. Tanto o Ribeirão, quanto o reservatório estão em condição de anaerobiose, e pode estar ocorrendo à decomposição de compostos facilmente degradáveis (açúcares e amido), produzindo ácidos orgânicos. Na camada mais profunda do sistema (piezômetro 1), também em condição de anaerobiose, pode estar ocorrendo a fase de hidrólise e fermentação da matéria orgânica remanescente, levando a formação de ácidos, o que poderia explicar as concentrações mais elevadas de AVT em relação a AB.

Nas outras camadas, a alcalinidade a bicarbonato foi superior. A inversão se dá pelo próprio processo de decomposição anaeróbia em que o sistema trabalhou. Nessas camadas, os ácidos gerados foram consumidos e transformados, gerando alcalinidade a bicarbonato e tamponando o meio. O que pode ser explicado através de citação Chernicharo (1997), no qual o mesmo cita que archeas metanogênicas, em ambiente favorável, utilizam ácidos voláteis gerando alcalinidade.

Nitrogênio e Fósforo

As análises de nitrogênio, como nitrogênio amoniacal (NH_4), e fósforo, como fosfato (PO_4), foram realizadas somente na segunda etapa de monitoramento. As análises foram realizadas apenas como complementação e não para avaliação da capacidade de remoção de nitrogênio.

O piezômetro 1 apresentou a menor média em nitrogênio amoniacal em comparação com o reservatório. As maiores médias foram obtidas no piezômetro 3, saída do sistema e reservatório (Fig. 15). Os picos foram obtidos no piezômetro 3 e na saída do sistema, com concentrações de 29,63 mg/L de NH_4^+ e 30,18 mg/L de NH_4^+ , respectivamente. As maiores concentrações de nitrogênio amoniacal no efluente final podem estar relacionadas à insuficiência de oxigênio liberado pelas macrófitas, não favorecendo a oxidação do nitrogênio amoniacal (VALENTIM, 2003).

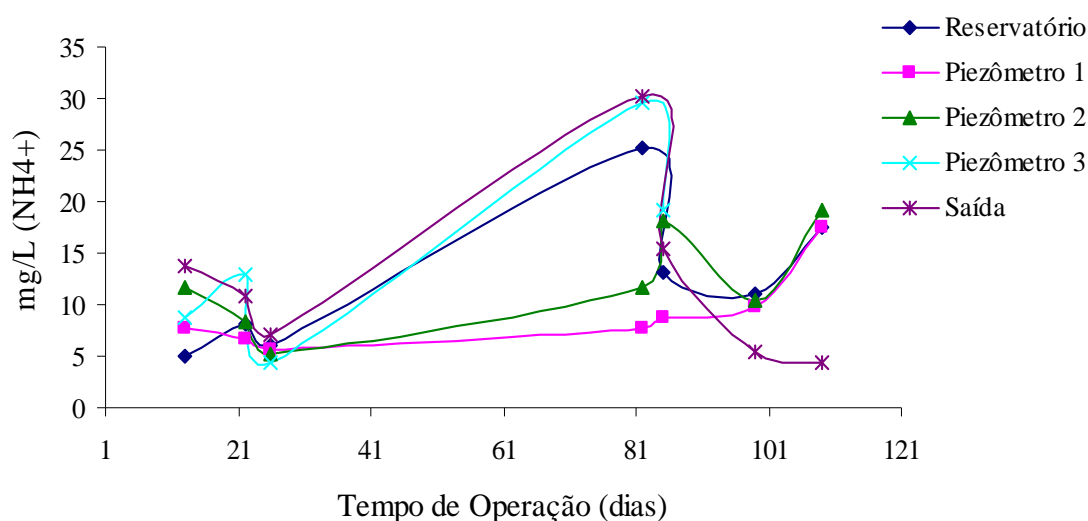


Figura 15 - Valores obtidos de concentração de nitrogênio amoniacal (mg/L de NH_4^+), nos pontos de amostragem, na segunda etapa de monitoramento, durante o período de operação do sistema.

Os valores obtidos na concentração de fósforo são apresentados na Fig. 16. Foram realizadas coletas na entrada e na saída do sistema, e os resultados indicaram que não ocorreu remoção de fósforo. Pelo contrário, houve aumento de fósforo na saída do sistema. Isso pode estar relacionado à decomposição orgânica e à liberação através de exsudados orgânicos, excretados ativamente pelas macrófitas (WANG, MITSCH, 1999; PHILIPPI; SEZERINO, 2004). Além disso, as macrófitas em processo de crescimento no sistema incorporam fósforo do sedimento até atingirem a saturação e na senescência, liberam para o meio (BEIYRUTH, 1992; WANG; MITSCH, 1999; VALENTIM, 2003, SOUSA et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2005 e DINIZ et al., 2005). Em algumas coletas, foram observadas a senescência de algumas folhas da macrófita. Menores valores de concentração de fósforo coincidiram com o período de menores concentrações em nitrogênio amoniacal, período esse de precipitação.

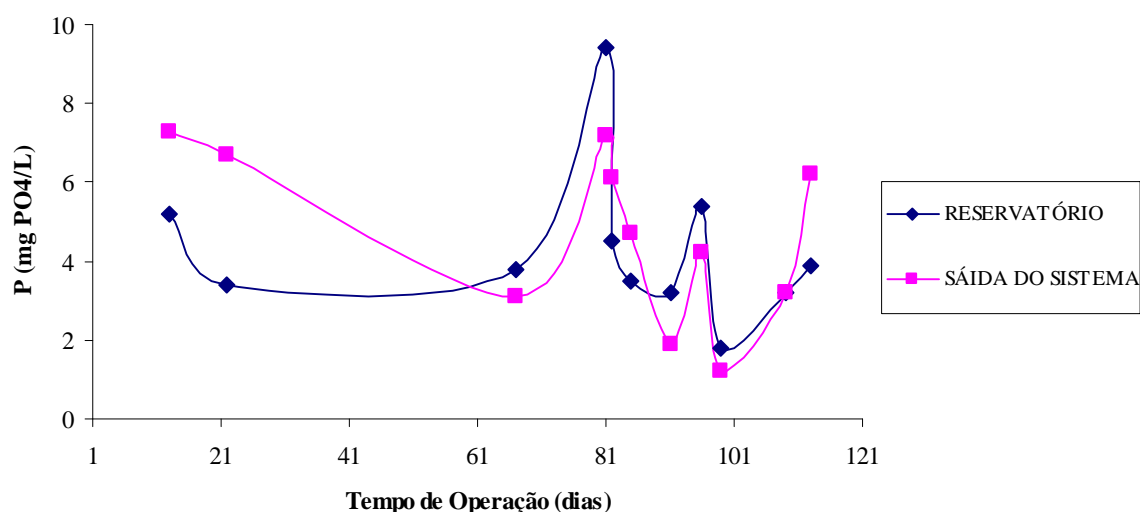


Figura 16 - Valores obtidos de concentração de fósforo (mg/L de PO_4^+), nos pontos de amostragem, na segunda etapa de monitoramento, durante o período de operação do sistema.



Coliformes Totais e Termotolerantes

O sistema cultivado com a macrófita *Sagittaria montevidensis* Cham. e Schltdl. apresentou eficiência média em coliformes totais de 96,7% na primeira etapa e 95,9% na segunda etapa. Em coliformes termotolerantes, a eficiência foi de 95,8% na primeira. Na segunda etapa, por motivo operacional, não se obteve valor em coliformes termotolerantes. Nas duas etapas foi verificada a presença de *E. coli* na saída do sistema.

Em sistemas cultivados com macrófitas, a remoção de patógenos pode estar relacionada a processos de retenção nas camadas do sistema, ao predatismo, à temperatura elevada, aumento de pH pelas raízes das macrófitas e também associada à remoção de sólidos suspensos (GHERMANDI et al., 2006).

CONCLUSÕES

Para tratamento das águas do Ribeirão foi proposto um sistema piloto de leito cultivado com a macrófita *Sagittaria montevidensis* Cham. e Schltdl., que se mostrou eficiente na remoção de matéria orgânica e coliformes. A eficiência média de remoção de matéria orgânica, medida em DQO alcançou, na primeira etapa, de $63,76 \pm 14,30\%$ e, na segunda, de $61,32 \pm 21,17\%$. A eficiência de remoção de coliformes totais foi acima de 95% e, para coliformes termotolerantes, foi acima de 99%. No entanto, não foi possível remover a *Escherichia coli* na água tratada.

Quanto à concentração de oxigênio dissolvido, este aumentou na saída do sistema, o que indicou melhoria na qualidade da água e pode estar relacionado com o fornecimento de oxigênio pelas raízes da macrófita presente. Não houve remoção de nitrogênio amoniacal e de fósforo.

A planta, no sistema, apresentou um bom desenvolvimento, contribuindo no fornecimento de oxigênio ao meio, pois houve um aumento significativo entre a camada onde estavam presentes as raízes e a saída do sistema, através da transferência de oxigênio por escape do gás das raízes à rizosfera.

Enfim, o sistema mostrou-se indicado para o tratamento de águas urbanas poluídas, como é o caso do Ribeirão dos Müller, pois apresentou várias vantagens, quando comparado aos sistemas convencionais de tratamento devido ao baixo custo com energia elétrica, à facilidade de operação e manutenção, ao fato de ser um sistema flexível e menos susceptível às altas taxas de aplicação de esgoto e por apresentar características de um ambiente natural, visto que a macrófita utilizada é comum em leitos de rios do município. Além disso, apresenta um bom aspecto paisagístico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANJOS, J. A. S. A. Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados - O caso do Plumbum em Santo Amaro da Purificação - BA. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo. 2003. 328p.
2. APHA, AWWA, WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20. ed. Washington D. C. /USA, American Public Health Association, 2000.
3. BAIRD, C. Química ambiental. 2. ed. (Cap. 8; 9). Porto Alegre: Bookman, 2002, p. 498-508
4. BARRETO, C. O. Eficiência de leito de macrófitas como unidade de polimento de efluente de indústria de aditivos para ração. Dissertação de mestrado Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas. UNICAMP, 2005, 53p.
5. BEYRUTH, Z. Macrófitas aquáticas de um lago marginal ao rio Embu-mirim, São Paulo, Brasil. Revista de Saúde Pública. ISS-0034-8910. v. 26. n. 4. SP. 1992.
6. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. Classificação dos corpos de água. Diário Oficial da União, Brasília/DF, 18 mar 2005.
7. BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2000.
8. BRIX, H. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? Wat. Sci. Tech, v. 35. n. 5. PII:s0273-1223(97) 00047-4. Pergamon, 1997. p11-17.
9. BRIX, H. Function of macrophytes in constructed wetlands. Wat. Sci. Tech, v.29. n.4. Pergamon, 1994, p. 71-78.



10. BRIX, H; ARIAS, C. A. The use of vertical flow constricted wetlands for on-site treatment of domestic wastewater. New Danish guidelines. ELSEVIER. Ecological Engineering, (2005) 491-500.
11. CEBALLOS, B. S. O.; MEIRA, M. B. S.; SOUSA, J. T. de; OLIVEIRA, H.; GUIMARÃES, A. O.; KONIG, A. Desempenho de um leito cultivado na melhoria da qualidade de um córrego poluído destinado a irrigação. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, I-32. 2000 p. 1-6
12. CHERNICHARO, C. A. de L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias reatores anaeróbios, v.5, DESA, 1997, 245, p.23-69, 38, 81, 82, 83, 143, 143.
13. DILALLO, R.; ALBERTSON, O. E. Volatile acids by direct titration. Jornal WPCF. v. 33, n.4, abr/1961. p. 357- 365.
14. DINIZ, C. R.; CEBALLOS, B. S. O. de.; KONIG, A.; BARBOSA, J. E. L.; GUIMARÃES, A. O. Macrófitas aquáticas em ecossistemas naturais: agentes filtradores e de remoção de matéria orgânica, nutrientes e de bactérias indicadoras de poluição fecal. IV 62. 23º. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande/MS, 2005.
15. ESTADO DO PARANÁ. Sistema Meteorológico do Paraná (SIMEPAR).
16. ESTADO DO PARANÁ. Superintendência de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (SURHEMA). Lei No. 92 de 20 de setembro de 1992.
17. GHERMANDI, A.; BIXIO, D.; TRAVERSO, P.; CERSOSIMO, I.; THOEYE, C. The removal of pathogens in constructed wetlands and its implications for water reuse. 10th International conference on wetland systems for water pollution control. Set/2006. Lisboa/Portugal. 385-397p.
18. KNIGHT, R.L.; KADLEC, R.H. Constructed Treatment wetlands- a global Technology. In: Water 21- Magazine of International Water Association. London, IWAP 57-58. 2000
19. MARQUES, D. M. L.; PINHEIRO, C. B.; LUCA, S. J. Controle de metais e elevação de pH por banhado (wetland) construído sem fonte externa de matéria orgânica. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABESI, I-052. 19. Congresso ABES. Foz do Iguaçu/PR, 1997, p 307-315.
20. MEYER, D.; LANGERGRABER, G.; DITTMER, V. Simulation of sorption processes in vertical flow constructed wetlands for CSO treatment. 10th International conference on wetland systems for pollution control. Water. 2006. Lisboa/Portugal. 599-609p.
21. OLIVEIRA, K. R. F.; IDE, C. N.; BEZERRA, L. P.; OLIVEIRA, L. T.; CASTRO, R. A. Pós-tratamento de rafas por banhados construídos utilizando a macrófita *Typha Domingensis Pers.* II 123 23⁰. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande/MS, 2005, p.1-15p.
22. PAREDES, D.; VÉLEZ, M. E.; KUSCHK, P.; MUELLER, R. A. Effects of type of flow, plants and addition of organic carbon in the removal of zinc and chromium in small-scale model wetlands. 10th International conference on wetland systems for water pollution control. 2006. Lisboa/Portugal. 497-505p.
23. PHILIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H. Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias - utilização de filtros plantados com macrófitas. Florianópolis/SC, 2004. 144p.
24. PRESZNHUK, R. A. de O. Estudo da viabilidade do filtro de carvão de bambu como pós-tratamento em estação de tratamento de esgoto por zona de raízes: Tecnologia ambiental e socialmente adequada. Dissertação de mestrado. Centro Federal de educação em tecnologia. Curitiba/PR. 2004.
25. RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. Biologia vegetal. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996.
26. RIPLEY, L. E.; BOYLE, W. C. & CONVERSE, J. C. (1986) Improved alkalimetric monitoring for anarobic digestion of righ-strenght wastes. J. WPCF, 58, 5. p. 406-411.
27. SANEPAR. Informação e- mail. Curitiba/PR, 2008.
28. SOUZA, A. L. **Estudo experimental e numérico do processo de remoção de poluentes nos leitos cultivados**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas/SP, 2003. 118p.
29. TUNDISI, J. G. Seminários Temáticos para 3ª. Conferência Nacional de Ciência e inovação. Parcerias estratégicas, n.20 (pt. 2) Brasília/DF. Jun./2005. 727p. Disponível em <http://www.cgee.org.br/arquivos/p_20_2.pdf> Acesso em 12 fev 2008.
30. VALENTIM, M. A. A. Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), UNICAMP, Campinas/SP, 1999.119p.
31. VON SPERLING, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) Universidade Federal de Minas Gerais. v. 1, ed. 3, 2005.452p.



32. WANG, N.; MITSCH, W. J. A detailed ecosystem model of phosphorus dynamics in created riparian wetlands. ELSEVIER. Ecological modeling, 126 (2000) 101-130.