



Desempenho do leito cultivado de uma estação de tratamento de efluentes gerado em uma instituição de ensino após período de inatividade

(<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.499>)

**Juliano Guimarães Assumpção¹; Mariko Ueno¹;
Paulo Fortes Neto¹; Luis Carlos Laureano da Rosa²**

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Taubaté (UNITAU)

e-mail: juliano.biologia@gmail.com; paulofortes.neto@gmail.com; mariueno@unitau.br;

²Núcleo de Pesquisa Econômico-Sociais – Universidade de Taubaté (UNITAU); e-mail: laureano@unitau.br

RESUMO

As instituições de ensino são potenciais geradores de grandes volumes de esgotos domésticos. Os estudos com sistemas naturais de tratamento de efluentes têm apresentado boa eficácia e custo reduzidos quando comparados com os sistemas tradicionais, isso os torna adequados para diversos segmentos da sociedade, incluindo instituições de ensino. Uma das características compartilhada pela maior parte das instituições de ensino é o fato das mesmas possuírem calendários acadêmicos que incluem longos períodos de recesso e isso leva, em muitos casos, o fluxo de esgotos nos sistemas praticamente a zero causando danos tanto para as macrófitas dispostas no leito quanto para as colônias de microrganismos associadas. O presente estudo teve por objetivo avaliar a eficiência de um sistema de leito cultivado, em uma instituição de ensino, logo após período de recesso, verificando, por um período de 45 dias, se este apresentava sinais de recuperação natural, sem qualquer intervenção; em seguida foi efetuado o plantio de 15 mudas do gênero *Thypha* sp., mantendo-se as análises por mais 45 dias, após plantio de novas mudas. A eficiência de remoção para os parâmetros de turbidez, NH₃, NO₃⁻ e Fósforo foram, respectivamente, de 63,0%, 21,7%, 31,1% e 20,3%, para DBO, DQO e para coliformes termotolerante, a eficiência média foi de 46,0%, 29,7% e 44,0%, respectivamente. Se for considerado apenas o período pós-plantio, os resultados melhoraram, sendo os seguintes: turbidez=78,2%, NH₃=38,0%, NO₃⁻=53,2%, Fósforo=25,6%, DBO=66,2%, DQO=36,5% e coliformes termotolerantes=60,7%. Os resultados demonstraram a importância da macrófita na eficiência desse tipo de sistema.

Palavras-chave: leitos cultivados; esgotos domésticos; saneamento ambiental; águas residuárias.

Performance of wetland systems in the treatment of sewage generated at an educational institution, after a recession period

ABSTRACT

Education institutions are potential generators of large volumes of domestic sewage. Studies of natural systems for effluent treatment have shown good efficiency and low cost compared to traditional systems. This makes them suitable for various segments of society, including educational institutions. A characteristic shared by most educational institutions is that they have the same academic calendars that include a long period of recess when, in many cases, the flow of sewage systems drops to almost zero, causing damage to both

macrophytes in sewage bed and their associated microorganisms. This study aimed to evaluate the efficiency of a wetland system in an educational institution, after the recess period. It was observed for 45 days if there were signs of natural recovery, without any intervention. After this period, 15 seedlings of *Thypha* sp. were planted in the sewage bed, and analyses were performed for 45 additional days. The system efficiency in reducing turbidity, NH₃, NO₃⁻ and phosphorus was, respectively, 63.0%, 21.7%, 31.1% and 20.3%, and for BOD, COD and thermotolerant coliforms, the average efficiency was 46.0%, 29.7% and 44.0%, respectively. If considered only the period after planting the results improved, with the following results: turbidity = 78.2%, 38.0% = NH₃, NO₃⁻ = 53.2% = 25.6% phosphorus, BOD = 66, 2% = 36.5% COD and thermotolerant coliform = 60.7%. The results demonstrated the importance of vegetation bed for the efficiency of such treatment system.

Keywords: wetlands; domestic sewage; environmental sanitation; wastewater.

1. INTRODUÇÃO

Por serem locais de concentração de pessoas, as instituições de ensino podem vir a lançar diariamente, nos sistemas públicos de coleta, volumes elevados de esgoto doméstico. Esse descarte *in natura* contribui para deteriorização dos corpos d'água e compromete a qualidade desse importante recurso.

Os custos de aquisição dos materiais e equipamentos para montagem e manutenção de uma estação de tratamento de efluentes tradicional, por muitas vezes leva algumas escolas a destinarem seus recursos para construção dos chamados sistemas naturais que, tradicionalmente, apresentam relativamente baixo custo de instalação e manutenção simples.

Os sistemas de tratamento de esgotos são ditos naturais quando se baseiam na capacidade de ciclagem dos elementos contidos nos esgotos em ecossistemas naturais, sem o fornecimento de qualquer fonte de energia induzida para acelerar os processos bioquímicos, os quais ocorrem de forma espontânea. Dentro dessa concepção, enquadram-se as lagoas de estabilização e os leitos cultivados (Sezerino, 2006).

Bastian e Hammer (1993) demonstraram considerável aumento na pesquisa e utilização de leitos cultivados, devido à baixa demanda energética requerida e a minimização do uso de processos químicos, além de não produzir lodo e não utilizar substâncias químicas adicionais. Assim sendo, os leitos cultivados constituem uma alternativa simples, podendo atender a demanda de instituições de ensino e, até mesmo, de pequenas comunidades.

Os leitos cultivados podem ser utilizados nos tratamentos primário, secundário e terciário de águas residuárias de origem domiciliar, industrial e rural; no tratamento de águas subterrâneas e águas para reúso; no manejo de lodo, de águas de escoamento superficial e contaminada com substâncias tóxicas; e na produção de biomassa (Paterniani e Roston, 2003).

Apesar de mostrar-se como um sistema que apresenta pontos positivos e ser altamente adequado para tratamento dos efluentes domésticos, típicos das instituições de ensino, os leitos cultivados sofrem danos com interrupções de longos períodos no fluxo dos esgotos, com isso os períodos de férias e recesso escolares são por muitas vezes os principais causadores da mortalidade das macrófitas do leito.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi verificar a eficiência desse tipo de sistema após um longo período de inatividade e em duas situações: naturalmente e após o plantio de novas mudas de *Thypha*.sp.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido nas instalações da Fazenda Piloto do Departamento de Ciências Agrárias – Universidade de Taubaté, tendo como coordenadas geográficas 23°02'34"S e 45°31'02"W e altitude aproximada de 577 m. A temperatura média de 23,5°C, no período do estudo. O clima é do tipo CWA (subtropical) segundo classificação de Köpen (1948), caracterizado por períodos chuvosos no verão e uma média pluviométrica de 1300 mm.

A estação de tratamento de esgoto é composta por fossa séptica, filtros anaeróbios e leito cultivado com a macrofita da espécie *Typha* sp.. Atualmente, atende, aproximadamente, de 150 a 400 pessoas por dia e recebe esgoto sanitário e água residuárias de laboratórios, cozinhas, cantina e da Fábrica Piloto de Alimentos. A vazão média da estação de tratamento de esgoto medida no período desta pesquisa foi de 211 L h⁻¹.

A representação esquemática do sistema de tratamento de efluente por leito cultivado está apresentada na Figura 1.

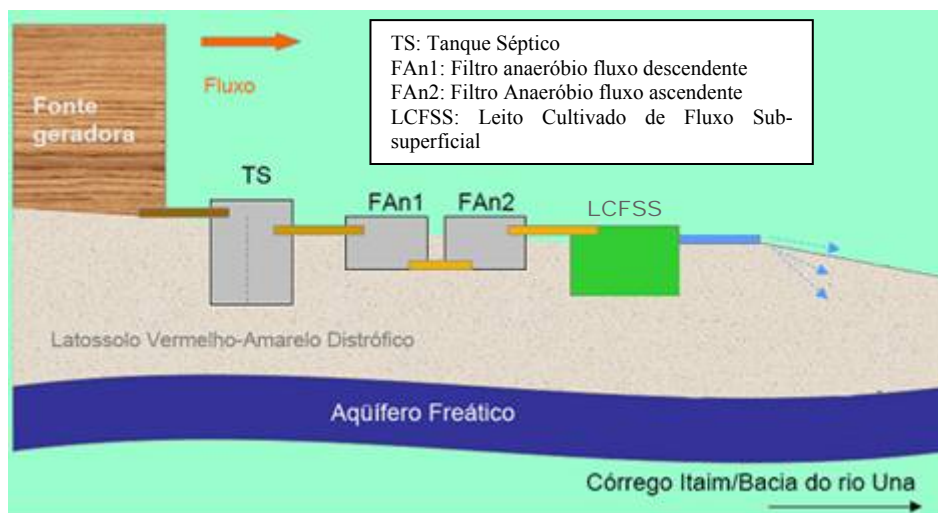


Figura 1. Esquema da estação de tratamento de efluente por leito cultivado.

Fonte: Adaptado de Fortes Neto e Ribas (2007).

O tratamento do esgoto ocorre em três fases: a primeira, na fossa séptica com capacidade para processar até 30 m³ (Andrade Neto, 1997), nessa fase os resíduos sólidos contidos no esgoto, são separados pelo processo de sedimentação; A segunda fase denominada de filtração anaeróbia é composta basicamente por um par de caixas d'água de cimento amianto com dimensões de 1,5 m de comprimento, 1,3 m de largura e 0,5 m de profundidade e capacidade limite de 1 m³ cada, o fluxo do efluente se dá de forma descendente para a primeira caixa e ascendente para a segunda e a terceira fase é composta por um tanque construído com cimento armado e com dimensões de 5,4 m de comprimento, largura de 3,4 m e profundidade de 1,6 m, sua capacidade total é de 15 m³, seu interior é preenchido com brita nº 2 para proporcionar a sustentação da macrófita e retenção das partículas sólidas do efluente.

Para o cálculo do volume útil (V_U), foi considerada a diferença entre o volume efetivo do leito de tratamento (V_e) e o volume ocupado pelo elemento filtrante, que nesse caso foi a brita nº 2. Para se obter V_U , multiplica-se V_e pelo percentual de volume de vazio entre um cubo de aresta igual ao diâmetro médio esférico para as pedras de 2,2 cm e um arranjo perfeito das pedras (Mannarino, 2003).

Neste caso, o volume útil (V_u) foi calculado conforme a Equação 1.

$$V_u = V_c \frac{(V_c - 4/3 \pi r^3)}{V_c} - V_u = 15 [(0,022)^3 - 4/3 \pi (0,011)^3] / (0,022)^3 \quad [1]$$

Portanto, $V_u = 7,14 \text{ m}^3$

Esse volume útil (V_U) calculado não leva em consideração o volume ocupado pelos sedimentos que se depositam no alagado ao longo do tempo de funcionamento, bem como o volume ocupado pelas raízes das plantas que se desenvolveram no tanque. Uma aproximação foi feita com base nos estudos realizados por Manios et al. (2003), onde um leito plantado tinha tempo de residência 82% menor que um leito sem plantas. Usando essa aproximação, foi efetuado o cálculo do volume ocupado conforme a Equação 2.

$$V = V_U \times 82 \% \quad V = 7,14 \times 0,82 \quad V = 5,85 \text{ m}^3 \quad [2]$$

Para a determinação de um valor médio das vazões de entrada e saída de esgotos foi feito o monitoramento por três dias em diferentes semanas, medindo-se o tempo gasto para encher um volume de 1 litro e a respectiva vazão efluente média, (Q_a e Q_e). Os valores médios do período monitorado para Q_a e Q_e foram de, respectivamente, 211 L/h e 170 L/h.

De posse dos valores acima citados foi possível calcular o tempo de retenção hidráulica, conforme a Equação 3.

$$TRH = \frac{5,85 \text{ m}^3}{192 \text{ L/h} \times 24 \text{ h} \times 1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ L}} \rightarrow TRH = 1,27 \text{ dias} \quad [3]$$

A eficiência do leito cultivado com macrófitas foi medida em termos da capacidade do sistema em remover os poluentes do esgoto. Para isso, as amostras foram coletadas antes e depois do plantio das macrófitas no leito.

A determinação dos poluentes foi realizada em amostras de efluentes coletados semanalmente durante dois meses nos pontos antes da fossa séptica e na saída do leito cultivado. Após a coleta as amostras foram enviadas para o laboratório para ser realizada a análise de pH, turbidez, DBO, DQO, nitrogênio, fósforo, e coliformes termotolerante (Brasil, 2006).

Os dados foram submetidos à análise da variância e as comparações entre as médias foram determinadas pelo Teste “t” de Student ao nível de 5% de significância para comparação entre os períodos pré e pós-plantio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Temperatura

Os valores da temperatura determinados antes da fossa séptica e após passar pelo leito cultivado variaram entre 17,8 e 24,1°C no esgoto afluente e 16,9 e 23,1°C no efluente, em todo o período os valores de saída foram menores que os de entrada, isso ocorre provavelmente porque no leito cultivado o efluente está em íntimo contato com a atmosfera e o afluente na fossa séptica fica em um ambiente fechado com tampa de concreto (Figura 2).

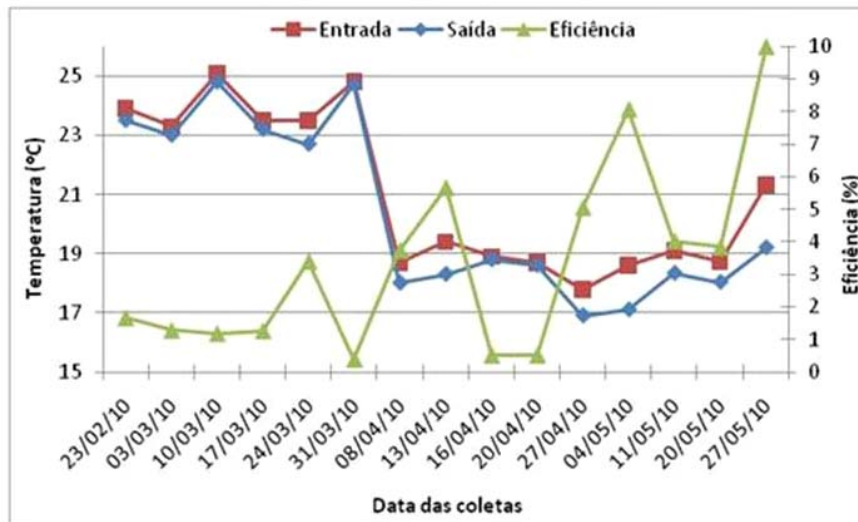


Figura 2. Variação da temperatura e eficiência durante período de estudo.

A variação da temperatura do esgoto no leito cultivado, por ser uma fase aberta, é influenciada pelas mudanças climáticas que ocorrem no ambiente (Toniato, 2005). Os valores descritos na literatura tendem a variar de acordo com o local de estudo e a época do ano, Toniato (2005) mensurou um valor médio de $\pm 27^{\circ}\text{C}$ para o afluente na entrada e $\pm 23^{\circ}\text{C}$ no efluente na saída entre dezembro de 2004 e março de 2005, já Sousa et al. (2002) obteve resultados médios de ± 22 e $\pm 24^{\circ}\text{C}$ para esgotos efluentes e afluentes, respectivamente em seu estudo realizado em Campo Grande-MS entre os meses de junho de 2002 e janeiro de 2003.

3.2. Turbidez

Os resultados da turbidez estão apresentados na Figura 3, observa-se um aumento gradativo na eficiência da redução da turbidez ao longo do tempo, sendo na primeira coleta 26,19% e na última 86,36%, como valor médio a remoção do parâmetro em questão ficou em 63% (Figura 3).

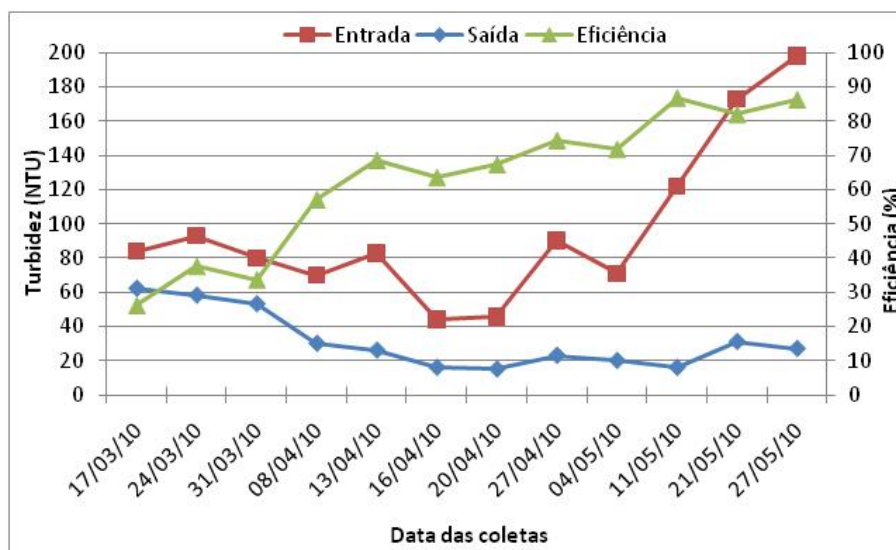


Figura 3. Valores da eficiência de redução da turbidez determinada durante o período de 17 de março a 27 de maio de 2010.

Silva (2007) observou uma eficiência de 99,15% na remoção da turbidez em um sistema de leito cultivado de fluxo vertical descendente, utilizando como meio filtrante um latossolo vermelho-amarelo misturado com areia e cultivado com arroz (*Oryza sativa* L.).

Os valores mais baixos na eficiência da redução da turbidez no início das operações e depois com tendência a melhorar no decorrer das coletas pode ser atribuído a um repovoamento do leito de cultivado por micro-organismos, que se intensificou após o replantio e o desenvolvimento das macrófitas.

3.3. Potencial hidrogeniônico

Os valores do pH do efluente variaram consideravelmente entre a entrada e a saída da estação de tratamento (Figura 4). Em todo o período de estudo foram determinados valores de pH no afluente acima de 7,8 e na saída do sistema o pH apresentou um valor médio de 7,4. A redução do pH do efluente na saída da estação deve-se as reações de biodegradação da fração orgânica do efluente que ocorre dentro leito cultivado.

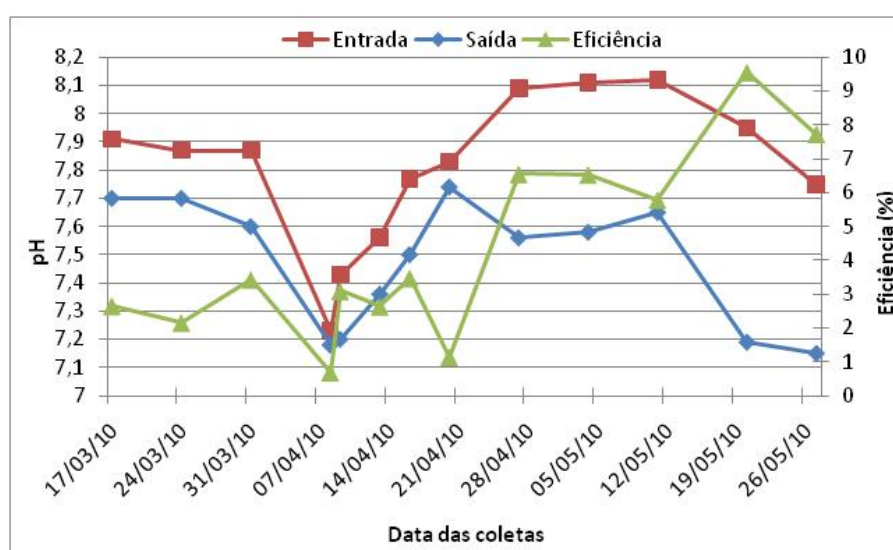


Figura 4. Valores da eficiência de redução do pH determinada durante o período de 17 de março a 27 de maio de 2010.

Os resultados do pH de entrada e saída do sistema de tratamento apresentados na Figura 4 estão situados em faixas de valores semelhantes ou próximas às encontradas por Ceballos et al. (2000) e Avelar (2008), em seus estudos, realizados no Espírito Santo, em que reportaram valores de pH entre 7,3 a 11,8 e valores de saída mais próximos da neutralidade (média de pH=7,2).

3.4. Nitrogênio amoniacal e nitrato

Os valores médios de amônia e nitrato foram, respectivamente, 43,73 e 160,50 mg/L, isso indica que a vazão de passagem do efluente não atinge a capacidade total do tanque, com isso o tempo de detenção hidráulica se eleva possibilitando a conversão de grande parte do nitrogênio orgânico em nitrato (Figuras 5 e 6).

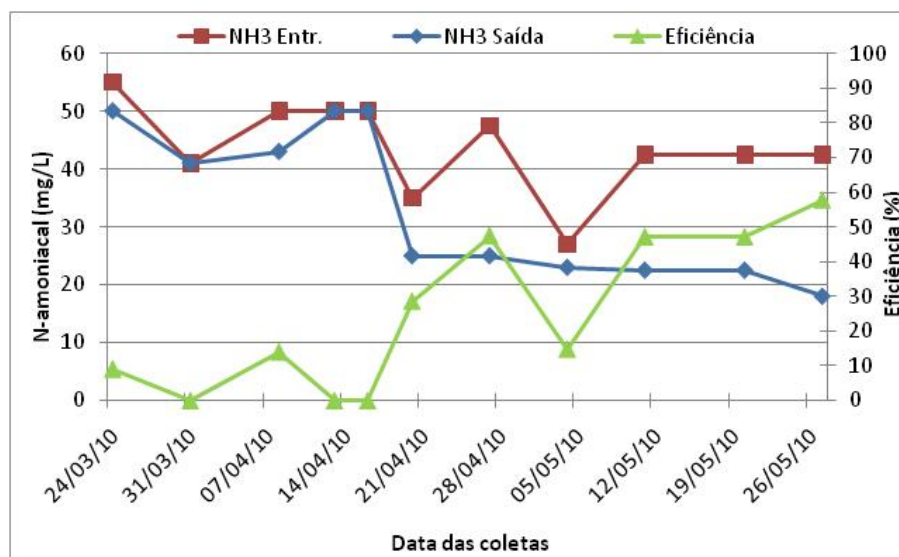


Figura 5. Valores da eficiência de redução do N-amoniaco determinada durante o período de 17 de março a 27 de maio de 2010.

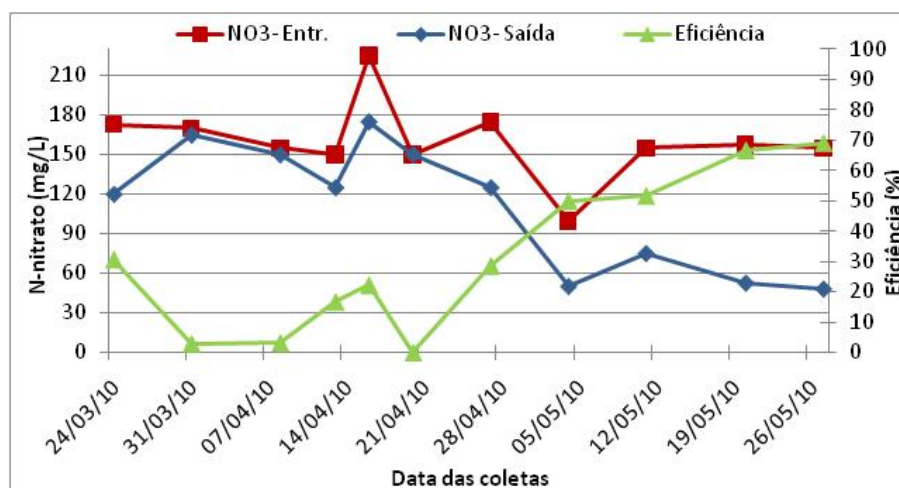


Figura 6. Valores da eficiência de redução do N-nitrato determinada durante o período de 17 de março a 27 de maio de 2010.

Quanto à eficiência do leito na remoção das formas de nitrogênio estudadas, quando a segregamos em dois períodos, no primeiro, levando-se em consideração as coletas efetuadas com o leito sem macrófitas a eficiência na redução de nitrato foi de 12,6% e amônia foi de 2,2%. No segundo, após o plantio em 15/abril/2010, a redução de nitrato foi de 53,2% e a de amônia foi de 38,0%). Essa diferença pode ser atribuída à influência dos micro-organismos e das raízes nos processos de nitrificação, assimilação e troca iônica com o substrato.

Olijnyk (2008) avaliou os processos de nitrificação e desnitrificação em leitos cultivados com *Typha* sp., os resultados obtidos foram de 33% na remoção de amônia e para nitrato 59%, números que muito se aproximaram dos obtidos neste estudo, isso ocorreu devido à semelhança de ambos no grau de desenvolvimento da espécie vegetal.

Mazzola (2003) obteve em seus estudos resultados baixos para a remoção de amônia e nitrato, ele comparou a eficiência entre leitos plantados com *Typha* sp. e *Eleocharis* sp., no primeiro caso, a eficiência do leito foi de 15% para amônia e 8,06% para nitrato, já para a segunda macrófita, os resultados foram de 10% e 11,11% para amônia e nitrato, respectivamente.

3.5. Fósforo total

O valor médio de fósforo na entrada do sistema foi de 13,86 mg/L, com um máximo de 30 e mínimo de 5 mg/L, após sua passagem pelo leito cultivado, o valor médio foi de 9,93 mg/L, tendo como valores máximo e mínimo 15 e 5 mg/L, respectivamente. Sendo assim, pode-se afirmar que sua eficiência média foi de 20,3%, no entanto, em dois momentos (16/abril e 27/maio/2010) a eficiência foi negativa (Figura 7).

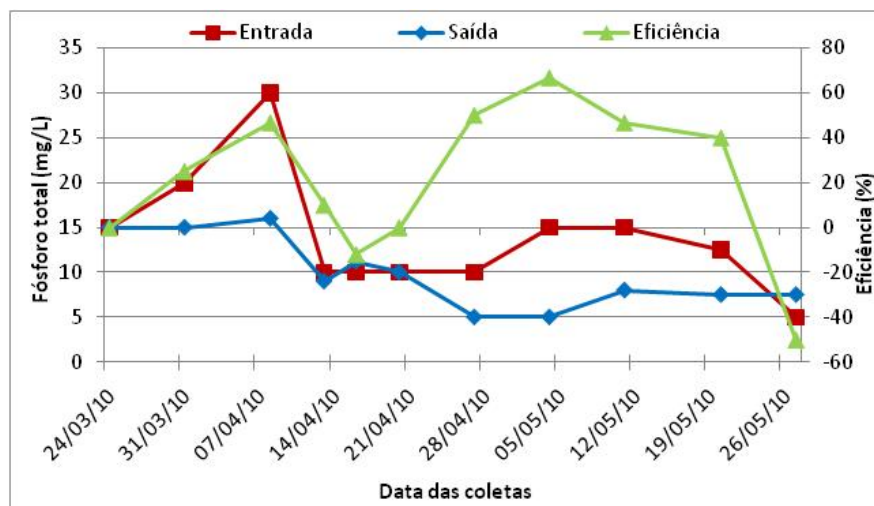


Figura 7. Valores de Ptotal e eficiência amostrada durante período de estudo.

Campos et al. (2002) avaliaram o uso de sistemas naturais de leitos cultivados, em escala piloto, como tratamento do chorume gerado no Aterro Sanitário de Pirai (RJ). Os leitos foram cultivados com *Typha* sp. e uma gramínea da região. Em ambos os casos os resultados de remoção foram excelentes (95%, para *Typha* sp. e gramínea de aproximadamente 88%).

Philippi et al. (1998) avaliaram um sistema composto por um tanque séptico associado a um leito cultivado com *Zizanopsis bonariensis*, os estudos foram desenvolvidos no Centro de Treinamento da EPAGRI em Agronômica/SC, e tinha como objetivo tratar suas águas residuárias (origem doméstica e agroindustrial). A eficiência média demonstrada ao longo do trabalho foi de 13%.

A assimilação pelas plantas é uma das formas de remoção, mas mostra-se insuficiente se comparada com a concentração presente no afluente. Outro mecanismo importante, mas também com eficiência temporária, é a precipitação, troca iônica ou sorção por alguns minerais associados ao meio, seu tempo de eficiência é variável de acordo com a origem do material granular (brita, cascalho e tipos de solos), mas seus efeitos sempre mostram um curto prazo (Drizo et al., 1997; Merz, 2000).

Essa tendência, a perda de capacidade foi demonstrada no trabalho de Souza et al. (2000) que avaliou o leito cultivado por 36 meses e os resultados mostraram uma diminuição quando comparados os 1º, 2º e 3º anos de operação (82, 22 e 13%, respectivamente).

No caso do leito cultivado do presente estudo, pode-se dizer que a capacidade retentora da brita encontrou-se prejudicada, pois esta já está em utilização desde 2004.

3.6. Demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio

Estudos envolvendo sistemas de leitos cultivados têm apresentado valores elevados na remoção da DBO e DQO, entretanto não foi essa a tendência demonstrada no estudo em questão, a eficiência média ficou em 46,0% para a demanda bioquímica e 29,7% para

demanda química de oxigênio. Os resultados obtidos para DBO e DQO, no sistema estudado, são apresentados nas Figuras 8 e 9.

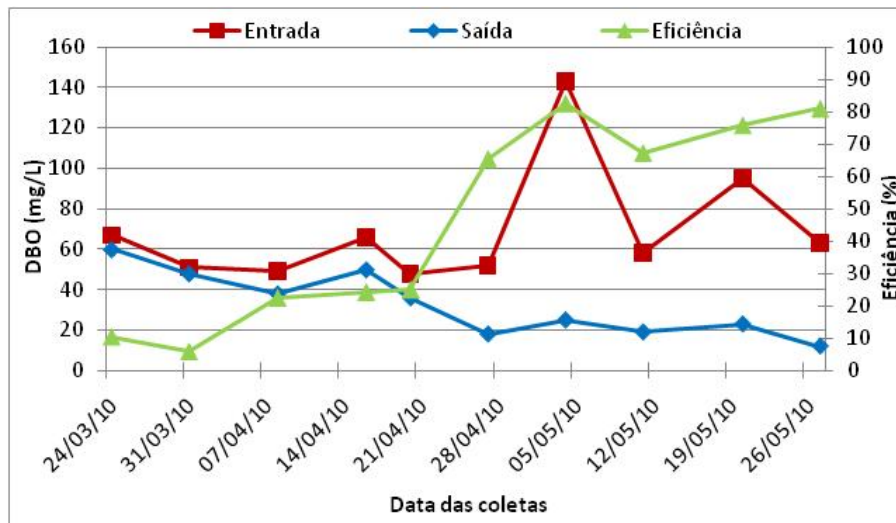


Figura 8. Valores de DBO e eficiência amostrada durante período de estudo.

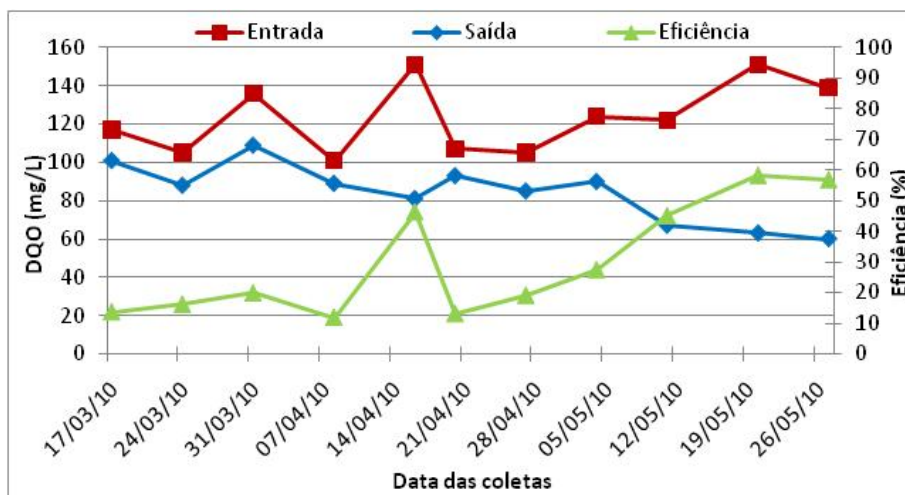


Figura 9. Valores de DQO e eficiência amostrada durante período de estudo.

Toniato (2005) verificou a eficiência de um leito cultivado utilizado no pós-tratamento de um tanque séptico e encontrou resultados de 86% para a DBO e para a DQO, 87%. Queiroz (2001) mediu a eficiência de um leito cultivado alocado no pós-tratamento e teve como resultado 86% na remoção da DBO, para DQO o valor foi de 51%. Duarte (2007) voltou a ter valores significativos nos dois parâmetros, amostrando valores médios na eficiência de DBO e DQO em 84,36 e 84,21%.

Nos casos citados, a qualidade no desenvolvimento das macrófitas era elevada, fato que não pode ser compartilhado com este estudo e isso pode ter influenciado os resultados obtidos, se dividirmos e compararmos a eficiência do leito antes e depois de 15/abril/2010 (data do plantio executado no leito) é possível notar um aumento nos resultados do pós-plantio, a Tabela 1 mostra os períodos e suas respectivas eficiências.

Tabela 1. Eficiência para DBO e DQO antes e após o plantio.

Parâmetro	Pré-plantio (%)	Pós-plantio (%)	Global (%)
DBO	15,76	66,15	45,99
DQO	21,59	36,50	29,72

A DBO parece ter sido rapidamente influenciada pela manutenção, pois, logo depois do plantio das novas mudas, observou-se decaimento nos seus valores (Figura 8), a intensidade de melhora também foi expressiva (quadruplicou), mostrando que o aumento na oferta de oxigênio disponível no leito cultivado e a atividade microbiana nas zonas adjacentes às raízes influenciou positivamente a sua redução, a DQO também apresentou uma melhora no período pós-plantio, mas de forma menos intensa, e como Toniatto (2005) afirmou que sua remoção é principalmente obtida através de meios de retenção físicos, sem depender fortemente do fornecimento de oxigênio, não era de se esperar que o plantio das mudas interferisse significativamente nesse parâmetro.

3.7. Coliformes termotolerante

A Figura 10 mostra os valores de coliformes termotolerantes amostrados no período de estudo.

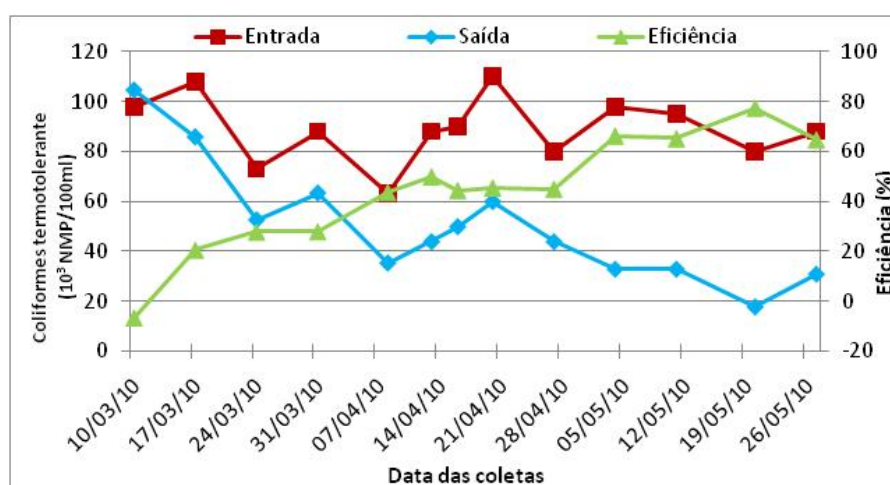


Figura 10. Valores de Coliformes termotolerante e eficiência amostrada durante período de estudo.

Para o parâmetro em questão, foram obtidos resultados de eficiência variados, ocorrendo desde valores negativos (-6,6%) até outros mais elevados (77,5%). De forma global, o valor médio da eficiência ficou em 46,0%.

Meira et al. (2004) utilizaram diferentes tipos de substratos e plantas para tratar águas de um rio urbano poluído, foram testados TRH's de 5 e 10 dias. Para a macrófita *Typha* sp. com substrato de brita, os valores de eficiência obtidos foram de 98,06% e 99,97 em tempos de retenção hidráulica de 5 e 10 dias, respectivamente.

Toniato (2005) afirmou que a remoção de patógenos em áreas alagadas parece estar relacionada com a remoção de sólidos suspensos e o tempo de retenção hidráulica (TRH), seu estudo resultou em alta eficiência na remoção de coliformes termotolerantes (99,86%)

Os resultados inferiores aos citados na literatura parecem ser influenciados por um dos fatores descritos por Toniato, pois o tempo de retenção hidráulica (TRH) é baixo se

comparado a outros estudos (1,15 dias), a baixa densidade radicular, que é fundamental para o desenvolvimento de colônias de micro-organismos nas regiões adjacentes ao sistema radicular também parece ter contribuído para os resultados.

3.8. Comparativo da eficiência entre os períodos pré e pós-intervenção

Os resultados amostrados em todos os parâmetros utilizados neste estudo podem subdividir-se em dois períodos, o primeiro compreende as coletas feitas entre 17 de março de 2010 e 14 de abril de 2010 e o segundo, abrange coletas entre 16 de abril de 2010 e 27 de maio de 2010. Essa segregação é feita em virtude de um processo de intervenção que foi executado no leito em 15 de abril de 2010, nesse processo foi removido todo material vegetal em decomposição que estava sobre o leito e foi feito um plantio de 15 mudas da espécie vegetal *Typha* sp.. A Tabela 2 mostra as diferentes taxas de eficiência alcançada pelo leito em cada um dos períodos.

Tabela 2. Eficiência do tratamento do efluente no leito cultivado antes e após o plantio das mudas de *Typha* sp.

Parâmetro	Eficiência pré-plantio (%)	Eficiência pós-plantio (%)	Eficiência global (%)
Temperatura	2,5	5,3	4,3
Turbidez	47,8	78,2	63,0
pH	2,5	5,8	4,3
NH ₃	2,2	38,0	21,7
NO ₃ ⁻	12,6	53,2	31,1
Fósforo total	13,9	25,6	20,3
DBO	15,8	66,2	46,0
DQO	21,6	36,5	29,7
Col. Termo	29,7	60,7	44,0

Pode-se notar um aumento nos valores da eficiência nos parâmetros analisados, isso indica uma influência positiva da vegetação.

A Tabela 3 mostra os valores médios do efluente nas etapas anterior e posterior ao plantio das macrófitas, seu desvio padrão e o P valor de cada parâmetro.

Foi possível constatar a importância do desempenho da vegetação, pois em todos os parâmetros analisados houve diminuição dos valores pós-plantio quando comparados com o período pré-plantio. Pode-se dizer também que o período pós-plantio foi caracterizado por uma maior regularidade nos resultados obtidos, pois a variância nessa fase foi menor em quase todos os parâmetros, somente N-nitrato teve o desvio padrão mais elevado que a primeira fase, isso ocorreu, pois as duas primeiras coletas, após o plantio das macrófitas resultaram em valores elevados (175 e 125 mg/L, respectivamente) seguidos de uma queda abrupta (50 mg/L), sendo depois os valores mantidos regulares.

Foi possível constatar a importância do desempenho da vegetação, pois em todos os parâmetros analisados houve diminuição dos valores pós-plantio quando comparados com o período pré-plantio. Pode-se dizer também que o período pós-plantio foi caracterizado por uma maior regularidade nos resultados obtidos, pois a variância nessa fase foi menor em quase todos os parâmetros, somente N-nitrato teve o desvio padrão mais elevado que a primeira fase, isso ocorreu, pois as duas primeiras coletas após o plantio das macrófitas

resultaram em valores elevados (175 e 125 mg/L, respectivamente) seguidos de uma queda abrupta (50 mg/L), sendo depois os valores mantidos regulares.

Tabela 3. Concentração média e desvio padrão dos parâmetros efluentes nos períodos pré e pós-plantio.

Parâmetro	Pré-plantio		Pós-plantio		Teste “t” Student
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	P valor
Temperatura (°C)	21,89	2,74	18,03	0,89	0,0082
Turbidez (NTU)	40,83	19,21	22	6,26	0,0455
pH	7,46	0,25	7,48	0,22	0,8860
NH ₃ (mg/L)	46,8	4,44	22,67	2,56	0,00001
NO ₃ ⁻ (mg/L)	147	24,14	88,42	43,73	0,0157
Fósforo (mg/L)	13,24	3,00	7,17	1,91	0,0019
DQO (mg/L)	93,6	14,21	76,33	11,63	0,0439
DBO (mg/L)	49	9,02	22,17	8,13	0,0003
Col. Termo. (NMP/100ml)	62x10 ³	25x10 ³	37x10 ³	14x10 ³	0,00001

O teste “t” Student (Tabela 3) revelou um P valor significativo ($p < 0,05$) em praticamente todos os parâmetros, o que indica a melhoria da eficiência na segunda etapa do estudo.

4. CONCLUSÃO

Após um período de inatividade, o sistema de leito cultivado sofreu danos prejudicando as macrófitas e os micro-organismos contidos em seu interior.

Ao retornar o fluxo efluente, o sistema iniciou um processo de recuperação natural que resultou na melhora gradativa da eficiência de remoção dos poluentes, de forma lenta.

A remoção da matéria orgânica morta e o plantio de novas mudas da espécie vegetal impactou de forma significativamente positiva e resultou em um aumento imediato na qualidade do efluente.

5. REFERÊNCIAS

ANDRADE NETO, C. O. **Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários – experiência brasileira**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 1997. 301p.

AVELAR, J. C. **Avaliação da escória de Aciaria (Id) como leito cultivado e leito filtrante no pós-tratamento de efluente de reator UASB compartimentado**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

BASTIAN, R. K.; HAMMER, D. A. The use of constructed wetlands for wastewater treatment and recycling. In: MOSHIRI, G. A. **Constructed wetlands for water quality improvement**. Pensacola: CRC Press, 1993. p. 3-8.

ASSUMPCÃO, J. G.; UENO, M.; FORTES NETO, P.; ROSA, L. C. L. Desempenho do leito cultivado, de uma estação de tratamento de efluentes gerado em uma instituição de ensino, após período de inatividade. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 165-178, 2011. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.499>)

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. Brasília: Funasa, 2006.

CEBALLOS, B. S. O.; MEIRA, C. M. B. S.; SOUSA, J. T.; OLIVEIRA, H.; GUIMARÃES, A. O.; KONIG, A. Desempenho de um leito cultivado na melhoria da qualidade de um córrego poluído destinado à irrigação. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 27., out. 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABES, 2000. 1 CD-ROM.

CAMPOS, J. C.; FERREIRA, J. A.; MANNARINO, C. F.; SILVA, H. R.; BORBA, S. M. P. Tratamento do chorume do aterro sanitário de Pirai (RJ) utilizando wetland. In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 6., 1 a 5 set. 2002, Vitória-ES. **Proceedings...** Vitória-ES: ABES, 2002. 1 CD-ROM.

DRIZO, A.; FROST, C. A.; SMITH, K. A.; GRACE, J. Phosphate and ammonium removal by constructed wetlands with horizontal subsurface flow, using shale as a substrate. **Water Science and Technology**, v. 35, n. 5, p. 95-102, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00057-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00057-7)

DUARTE, S. **Estudo de caso da aplicação de banhado artificial de fluxo subsuperficial no tratamento de efluentes industriais**. 2007. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

FORTES NETO, P.; RIBAS, T. B. Tratamento de efluentes domésticos por leito cultivado. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL – SERHIDRO-PS, 1., 7 a 9 nov. 2007, Taubaté. **Anais...** Taubaté: IPABHI, 1997.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. Cidade do México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 479 p.

MANIOS, T.; STENTIFORD, E. I.; MILLNER, P. Removal of heavy metals from a metaliferous water solution by *Typha latifolia* plants and sewage sludge compost. **Chemosphere**, v. 53, p. 487-494, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00537-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00537-X)

MANNARINO, C. F. **Uso de wetland sub-superficial no tratamento de efluente de estação de tratamento de chorume por lodos ativados**. 2003. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro,, Rio de Janeiro, 2003.

MERZ, S. K. **Guidelines for using free water surface constructed wetlands to treat municipal sewage**. Brisbane: Department of Natural Resources, Government of Queensland, 2000. Disponível em: <http://www.epa.qld.gov.au/publications/p00424aa.pdf/Guidelines_for_using_free_water_surface_constructed_wetlands_to_treat_municipal_sewage.pdf> Acesso em: 24 mar. 2009.

MAZZOLA, M. **Uso de leitos cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio compartimentado**. 2003. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

ASSUMPCÃO, J. G.; UENO, M.; FORTES NETO, P.; ROSA, L. C. L. Desempenho do leito cultivado, de uma estação de tratamento de efluentes gerado em uma instituição de ensino, após período de inatividade. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 165-178, 2011. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.499>)

- MEIRA, C. M. B.; CEBALLOS, B. S. O.; OLIVEIRA, H.; SOUZA, J. T.; KÖNIG, A. Despoluição de águas superficiais contaminadas com esgotos domésticos usando wetlands construídos. In: WORKSHOP SOBRE BIODEGRADAÇÃO, 2., 18 a 20 jun. 2004. Jaguariúna. **Anais...** Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2004. v. 1. p. 387-390.
- OLIJNYK, D. P. **Avaliação da nitrificação e desnitrificação de esgoto doméstico empregando filtros plantados com macrófitas (wetlands) de fluxos vertical e horizontal – sistemas híbridos**. 2008. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- PATERNIANI, J. E. S.; ROSTON, D. M. Tecnologias para tratamento e reuso da água no meio rural. In: HAMADA, E. (Ed.). **Água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo: avanços e desafios**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2003.
- PHILIPPI, L. S.; COSTA, R. H. R.; SEZERINO, P. H. Domestic effluent treatment through integrated system of septic tank and root zone. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 6., 27 set.- 2 out. 1998, Águas de São Pedro. **Proceedings...** Águas de São Pedro, 1998. v. 1. p. 670-679.
- QUEIROZ, T. R. **Remoção de sólidos suspensos de efluentes de lagoas de estabilização por meio de processos naturais**. 2001. 229f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2001.
- SEZERINO, P. H. **Potencialidade dos filtros plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical**. 2006. 171f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- SILVA, S. C. **Wetlands construídos de fluxo vertical com meio de suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos**. 2007. 250f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- SOUZA, J. T.; HAANDEL, A. C.; LIMA, E. P.; GUIMARÃES, A. V. Desempenho de wetland construído tratando esgotos digeridos anaerobicamente. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 10., 16 a 19 de set. de 2002, Braga. **Proceedings...** Braga: ABES, 2002. 1 CD-ROM.
- SOUZA, J. T.; HAANDEL, A. C.; CABRAL, R. P. B. Desempenho de sistemas wetlands no pós-tratamento de esgotos sanitários pré-tratados em reatores UASB. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9., 9 a 14 de abr. 2000, Porto Seguro. **Proceedings...** Porto Seguro: ABES, 2000. 1 CD-ROM.
- TONIATO, J. V. **Avaliação de um Wetland construído no tratamento de efluentes sépticos: estudo de caso Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brasil**. 2005. 95f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2005.