

## PÓS-TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO UTILIZANDO WETLAND

*Fillippe Mota de Carvalho* \*<sup>1</sup> & *Juacyara Carbonelli Campos*<sup>2</sup> ; *Camille Ferreira Mannarino*<sup>3</sup>

**Resumo:** Os *wetlands* procuram imitar algumas das funções existentes nos meios naturais, em particular a capacidade de degradação da matéria orgânica e contenção de nutrientes (fósforo e nitrogênio). O trabalho, em escala piloto, está sendo realizado na Estação de Tratamento de Esgoto do bairro Jacuecanga, na cidade de Angra dos Reis-RJ, onde está construído um sistema de *wetland* por fluxo subsuperficial como pós-tratamento de efluente sanitário proveniente de um sistema primário de tratamento e reator *wetland* de 10 m<sup>2</sup> de área, contendo a macrófita emergente *Taboa* (*Typha*). Além dos parâmetros de qualidade, foi monitorado o índice pluviométrico para balanço hídrico do sistema. As remoções de poluentes obtidas, em termos de concentração, no *wetland*, até o momento, foram na ordem de 70,4% para DQO, 46,3% para sólidos suspensos totais, 56,5 % para sólidos suspensos voláteis, 73,4% para DBO, 61,7% para nitrogênio amoniacal e 20,4% para fosfato. As remoções, em termos de carga poluidora, de DBO, nitrogênio amoniacal e fosfato foram de 81,2%, 74,6% e 42,6%, respectivamente. A redução média da vazão entre a entrada e a saída do *wetland*, no período de observação, foi na ordem de 26,58%.

**Palavras-chave:** efluente sanitário, matéria orgânica, *wetland*.

## POST-TREATMENT OF SANITARY SEWER USING WETLAND

### Abstract

Wetlands or constructed wetlands try to imitate some of the features existing in nature, in particular the ability of organic matter degradation and containment of nutrients (phosphorus and nitrogen). The work, on a pilot scale, is being held at Station Sewage Treatment Jacuecanga in the city of Angra dos Reis, RJ, which is built on a system of wetland sub-surface flow and post-treatment of sanitary effluent and reactor wetland area of 10 m<sup>2</sup>, containing emergent macrophyte *Taboa* (*Typha*). The removals of pollutants obtained in terms of concentration, wetland, so far, were in the order of 70.4% for COD, 46.3% for total suspended solids, 56.5% for volatile suspended solids, 73.4 % for BOD, 61.7% for ammonia and 20.4% for phosphate. The removal percentage of the system increases respectively for 81.2%, 74.6% and 42.6%. The average reduction in flow between the inlet and outlet of the wetland, the observation period was around 26.58%.

**Keywords:** sanitary effluent, organic matter, wetland.

\*<sup>1</sup> mestrando do Programa de Engenharia Ambiental-PEA Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ- UFRJ Centro de Tecnologia - Bloco E - sala E 206 Ilha do Fundão - CEP 21941-909 – (024) 78167711, fillippe@poli.ufrj.br

<sup>2</sup> professora adjunta da Escola de Química - Bloco E - sala E 206 Ilha do Fundão - CEP 21941-909 – juacyara@eq.ufrj.br.

<sup>3</sup> professora visitante do Depto. de Eng. Sanitária e do Meio Ambiente/UERJ, DSc.em Saúde Pública e Meio Ambiente – camille@eng.uerj.br.

## INTRODUÇÃO

Os *wetlands* ou terras úmidas construídas procuram imitar algumas das funções existentes nos meios naturais, em particular a capacidade de degradação da matéria orgânica e contenção de nutrientes (fósforo e nitrogênio).

Desta forma, eles são sistemas projetados, artificialmente pelo homem, utilizando macrófitas aquáticas em substratos (areia, solo ou cascalho) ou ainda submersas onde, de forma natural e sob condições ambientais adequadas, pode ocorrer a formação de biofilmes, que agregam uma população variada de microrganismos. Estes seres possuem a capacidade de tratar os esgotos, por meio de processos biológicos, químicos e físicos.

Pela necessidade de nutrientes para seu crescimento e reprodução, as macrófitas tem função vital neste tipo de processo de tratamento de águas residuárias, podendo ser emergentes que desenvolvem seus sistemas radiculares fixadas no substrato (*Typha*, *Juncus*, *Carex*), ou ainda flutuantes, que flutuam na superfície da água (*Eichhornia crassipes*, *Sperrodela*, *Salvinia molesta*).

Os *wetlands* podem ser operados de fluxo superficial ou subsuperficial. As terras úmidas de fluxo superficial constituem bacias ou canais, onde são povoadas as macrófitas que utilizam o material orgânico e nutrientes das águas residuárias a ser tratadas. A superfície do efluente a ser tratada se mantém sobre o substrato. Uma das suas desvantagens é a proliferação de insetos, mosquitos e produção de mau cheiro. Nas terras úmidas de fluxo subsuperficial, a água residuária a ser tratada escoia horizontalmente, através da zona das raízes e rizomas das macrófitas, situadas a cerca de 15 a 20 cm abaixo da superfície do substrato.

Estudos em escala real e de laboratório têm demonstrado que estes sistemas possuem boa capacidade de remoção de DBO, sólidos suspensos, nitrogênio, fósforo e metais. A redução dos teores destes parâmetros é resultante da ação de diversos mecanismos de sedimentação, de precipitação, de adsorção química e de interação microbiana.

## OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de um sistema *wetland* utilizado no pós-tratamento de efluente sanitário de um sistema de tratamento primário (gradeamento, caixa de areia e decantador primário), com relação à remoção de matéria orgânica, sólidos, nitrogênio e fósforo, além do monitoramento de campo dos parâmetros pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade e o balanço hídrico do sistema.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho, em escala piloto, foi realizado na Estação de Tratamento de Esgoto do bairro Jacuecanga, nas coordenadas: 22°59'38.90"S e 44°14'9.25"O, na cidade de Angra dos Reis-RJ.

### Construção do reator *wetland*

O aparato experimental foi constituído por uma unidade de *wetland* em alvenaria, impermeabilizada externamente com lona plástica e internamente com massa impermeabilizante, utilizando ainda como insumos: 0,5 m<sup>3</sup> de argila, 3 m<sup>3</sup> de brita n°2, 3,5 m<sup>3</sup> de solo, 1 reservatório de 1.000 L, tubos e conexões em PVC com diâmetros de 50 e 60 mm.

O reator *wetland* de 10 m<sup>2</sup> área superficial possui as seguintes dimensões: 5 m de comprimento, 2 m de largura e 1 m de altura, possuindo inclinação de 3%. O *wetland* foi preenchido com 0,05 m de argila, 0,2 m de brita n° 2, 0,35 m de solo retirado da cava onde fora instalado o sistema e ainda mais 0,1 m de brita n° 2 na superfície do reator. A camada de argila tem a função de ajudar na impermeabilização do fundo do reator, com a camada de solo como substrato para as plantas e ainda as camadas de britas potencializando a distribuição uniforme do fluxo subsuperficial. A camada superior de brita tem ainda a função de evitar a presença de insetos e a produção de odor. Parte do efluente proveniente da saída do decantador primário da ETE é conduzido por gravidade até o reservatório de 1.000 L (mil litros) para homogeneização e alimentação do reator. Válvula para controle de vazão foi instalada na entrada e na saída do reservatório, que também possui válvula para limpeza de fundo e um extravasor de segurança, conforme mostra a Figura 1a. A tubulação de entrada, perpendicular ao comprimento do reator, foi toda perfurada de forma a uniformizar a distribuição do efluente e se encontra a 0,6 m de altura (na camada superior de brita n°2). O dreno de saída perpendicular ao reator foi também perfurado para melhor captar o efluente após passagem pelo sistema e se encontra a 0,07 m de altura (na camada inferior de brita n°2). Para a saída do efluente do sistema, foi construída uma caixa para coleta do efluente por meio de tubulação flexível, onde é possível regular o nível de saturação dentro do sistema, como pode ser visto na Figura 1b.

## Macrófita

A planta escolhida para o estudo foi a macrófita emergente Taboa (*Typha*), muito fácil de ser encontrada nos charcos terrenos da região de Angra dos Reis - RJ. Após sua retirada, com cuidados para a preservação das partes anatômicas das plantas, especialmente as raízes e os rizomas, as plantas foram imediatamente plantadas uniformemente no substrato do reator com 0,05m de altura de seu sistema radicular, conforme Figura 1c. Foi utilizado a densidade de 6 plantas por m<sup>2</sup>, totalizando assim 60 plantas no sistema. Algumas plantas que se encontravam aparentemente menos saudáveis foram podadas, permanecendo seu caule com 0,5 m de altura.

## Definição das Vazões de Operação e Tempo de Residência

A vazão de entrada (reservatório) foi fixada na vazão de 500 L/dia (quinhentos litros por dia) e a vazão de saída (caixa coletora) foi medida com frequência semanal, sendo realizada através do método direto, usando balde graduado e cronômetro.

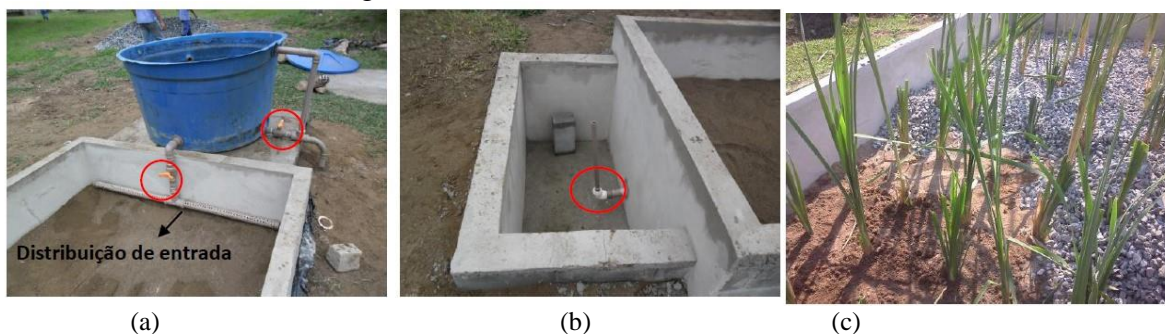


Figura 1 – Construção reator - (a): Reservatório para armazenamento e homogeneização do efluente. Ainda sem a camada superior de brita. (b) Caixa coletora de amostra de saída. (c) detalhe da planta.

Para conhecer o volume útil de vazios do reator *wetland*, o mesmo completamente seco, foi alimentado com efluente através do reservatório, demarcando-se o volume de efluente necessário do início do processo até o processo de despejo na caixa coletora de saída. Conhecendo assim o volume útil de vazios de aproximadamente 2.000L (dois mil litros), calculando assim o tempo de residência no sistema *wetland* de **4 dias**.

### Campanha de monitoramento

Após a aclimação para a pega das plantas, iniciou-se o monitoramento de campo do sistema com análises semanais do efluente de entrada e saída – através de um medidor multiparâmetros da marca policontrol- com os seguintes parâmetros: pH, temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade. De forma a diminuir a interferência externa para a medição do parâmetro oxigênio dissolvido, foi instalado perpendicular ao leito do sistema um tubo em PVC, próximo à saída, com o intuito de introduzir a sonda do medidor multiparâmetro diretamente no fluxo subsuperficial (dentro do sistema), fazendo a medição direta.

Coletas com frequência semanal para análise dos parâmetros, DBO, DQO, amônia e fosfato, e série de sólidos foram realizadas, seguindo a metodologia APHA (2005). Até o momento foram coletadas amostras no período aproximado de 06 meses, através de 20 laudos laboratoriais, sendo desses, parte realizada pelo laboratório da Escola de Química da UFRJ e parte pela empresa Analytical Technology.

Foi realizada também, a leitura do índice pluviométrico através de um pluviômetro de 150 mm instalado dentro do reator.

### RESULTADOS

As tabelas 1 e 2, apresentam as médias dos resultados de monitoramento das análises laboratoriais e de campo, iniciadas no dia 04/10/2012 até a data de 21/03/2013, contemplando 20 amostras.

Tabela 1- Resultados das análises de campo. Os campos com traço não foram contemplados no projeto.

Pontos	Vazão (L/dia)	Temperatura (C)	O2 (mg/L)	pH	Condutividade de (uS/cm)
Média Entrada	500,00	26,48	0,87	7,17	611,20
Média Meio	—	25,82	1,23	7,03	—
Média Saída	367,10	26,33	—	7,00	606,40

Tabela 2- Resultados das análises laboratoriais

Ponto	DBO em concentração (mg/L)	DBO em carga (mg/dia)	DQO (mg/L)	Nitrogênio Amoniacal em concentração (mg/L)	Nitrogênio Amoniacal em carga (mg/dia)	Fosfato (mg/L)	Carga Fosfato (mg/dia)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)
Média Entrada	63,70	31850,0	217,59	19,86	9929,40	4,46	2231,56	104,67	48,30

<b>Média</b>	16,91	5977,12	64,21	7,60	2527,53	3,55	1280,66	56,11	20,98
<b>Saída</b>									
<b>Eficiência</b>	73,4%	81,2%	70,4%	61,7%	74,5%	20,4%	42,6%	46,3%	56,5%

## Condutividade

Os valores de condutividade são relacionados, sobretudo, com a presença de íons em solução e estão intrinsecamente ligados com a redução de sólidos dissolvidos nos efluentes. Não é um parâmetro controlado pelas leis ambientais vigentes.

Nesse trabalho a condutividade de entrada no *wetland* variou, entre 305 a 888 mg/L (média de 611,2 mg/L), enquanto que a de saída oscilou entre 202 e 855 mg/L (média de 606 mg/L).

## Oxigênio Dissolvido

Os valores encontrados de oxigênio dissolvido medido na entrada do *wetland* variaram entre 0,2 a 2,0 mg/L (média de 0,87 mg/L) e, o meio do reator *wetland*, entre 0,45 a 3,56 mg/L (média 1,23 mg/L). Este aumento já era esperado devido ao efeito da fotossíntese realizada pelas plantas, liberando o oxigênio no meio.

Os valores de **pH e temperatura** apresentaram-se aproximadamente constantes ao longo do período de monitoramento e nos pontos de análise do sistema (entrada, meio do reator e saída).

## Fosfato

Os valores de Fosfato medidos na entrada do *wetland* variaram entre 1,99 a 10,7 mg/L (média de 4,46 mg/L) e, na saída do *wetland*, entre 0,03 a 11,7 mg/L (média 3,55 mg/L). O percentual médio de remoção de Fosfato em termos de concentração foi de 20,4%, e em termos de carga poluidora em 42,6%.

## Nitrogênio Amoniacal

O valor médio registrado para a concentração de entrada de amônia foi de 19,86 mg/L, e de saída, de 7,60 mg/l, variando entre 0,02 a 44,2 mg/L (entrada), e entre 0,01 a 26,4 mg/L (saída), caracterizando uma remoção no *wetland*, de 61,7%. E em termos de carga poluidora essa porcentagem sobe para 74,6%.

## DQO

A DQO de entrada no *wetland* variou, no período de observação, entre 116,48 e 447,2 mg/L (média de 217,59 mg/L), enquanto que a de saída oscilou entre 28,9 e 131,8 mg/L (média de 64,21 mg/L). O percentual de remoção em termos de concentração de DQO obtidos no *wetland* 70,4%.

## DBO

Apesar de os padrões de lançamento exigidos na legislação ambiental vigente no Estado do Rio de Janeiro, serem avaliados em termos de concentrações de poluentes, deve-se ressaltar que os impactos reais causados ao corpo hídrico são mais influenciados pelas cargas de poluentes lançadas.



Grandes volumes, mesmo com menor concentração, podem ser muito mais danosos ao meio do que maiores concentrações presentes em descartes com pequenos volumes, num mesmo intervalo de tempo.

A DBO medida na entrada do reator variaram entre 5,8 a 155,8 mg/L (média de 63,7 mg/L) e, na saída, entre 3,0 e 38,9 mg/L (média 16,91 mg/L). O fato da ETE do bairro onde está sendo realizado o projeto, possuir considerável influencia de águas pluviais através de sua rede coletora, pode explicar os valores baixos e variáveis de concentração de DBO na entrada do *wetland*. O percentual médio de remoção em termos de concentração foi de 73,4%. Analisando-se a remoção em termos de carga poluidora, o percentual sobe para 81,2%.

### **Sólidos Suspensos Totais e Sólidos Suspensos Voláteis**

Os níveis de concentração de sólidos não é registrado pela legislação vigente. Porém, estão ligados às concentrações de outros poluentes, como por exemplo matéria orgânica e sais, de modo que os teores de sólidos são referencias para os padrões de remoção exigidos para os poluentes a eles correlacionados.

Os valores médios dos sólidos suspensos totais ao longo do período de monitoramento na entrada do *wetland*, foi de 104,67 mg/L, variando entre 12 e 358 mg/L, e na saída do *wetland* de 56,11 mg/L, variando entre 5 e 227 mg/L. O percentual médio de remoção de sólidos suspensos totais foi de 46,3%.

Os valores médios dos sólidos voláteis ao longo na entrada do *wetland*, foi de 48,3 mg/L, variando entre 8 e 170 mg/L, e na saída do *wetland* de 20,98 mg/L, variando entre 5 e 90 mg/L. O percentual médio de remoção de sólidos suspensos totais foi de 56,5%.

### **Balanço Hídrico**

Com a vazão fixada em 500 L/dia e através da medição semanal da vazão de saída foi possível observar a influência da precipitação na vazão de saída. Foi encontrado uma vazão média de saída de 367,10 L/dia, variando-a sua menor vazão à 255 L/dia (91 dias de operação-sem registro de chuva) e sua maior vazão à 450 L/dia (109 dias de operação-registro de 202 mm/semana de chuva), conforme mostrado na Figura 2.

Comparando as vazões obtidas na entrada e na saída do *wetland*, nota-se a redução entre seus valores, que é devido essencialmente à ação solar através da evaporação do efluente pela macrófita e diretamente a partir da superfície do solo. Deve ser lembrado que a parcela de evaporação que ocorre nas superfícies livres de água não é significativa no *wetland* trabalhado uma vez em que ele é operado com fluxo subsuperficial.

A redução média da vazão entre a entrada e a saída do *wetland*, no período de observação, foi na ordem de 26,6%. Isso significa dizer que 73,4% do percolado que entra no *wetland* sai como efluente, a ser descartado diretamente no corpo receptor. Há que se destacar que trata-se de um período chuvoso e que a evapotranspiração real, nesse período, é maior do que a medida pela diferença de vazões de entrada e saída, pois, desta forma, não está se considerando a vazão adicional causada pela chuva, que pode ser calculada pela multiplicação da altura de chuva medida no pluviômetro pela área do *wetland* (10 m<sup>2</sup>).

Analisando o potencial de redução de vazões, principalmente em regiões de clima tropical, onde as elevadas temperaturas potencializam os efeitos da evapotranspiração, o sistema de *wetland* implantado já se mostra uma boa alternativa no tratamento de efluente sanitário.

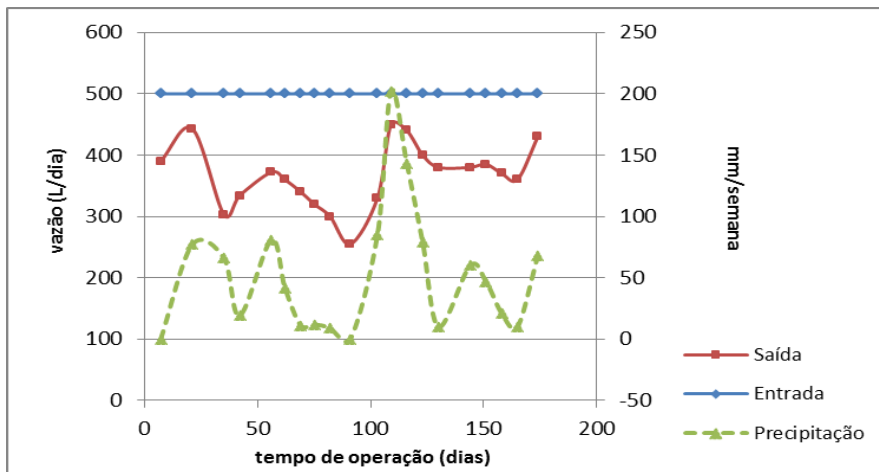


Figura 2: Gráfico Balanço Hídrico - resultados de vazões de alimentação de entrada e saída, em L/dia, e do valor da precipitação, em mm/semana (eixo vertical). No eixo horizontal o tempo de operação do *wetland* em dias.

## Taboas

As taboas utilizadas no processo, tem se mostrado até o momento, bastante resistente às variações de qualidade do efluente sanitário na entrada do *wetland*. A vegetação não tem apresentado sinais de morte e nem perda de viço.

## CONCLUSÃO

Comparando as vazões obtidas na entrada e na saída do *wetland*, nota-se a redução entre seus valores, que é devido essencialmente à ação solar através da evaporação do efluente pela macrófita e diretamente a partir da superfície do solo. Deve ser lembrado que a parcela de evaporação que ocorre nas superfícies livres de água não é significativa no *wetland* trabalhado uma vez em que ele é operado com fluxo sub-superficial. Neste mesmo balanço hídrico, observa-se a influência da precipitação no aumento da vazão de saída do projeto.

Analisando o potencial de redução de vazões, principalmente em regiões de clima tropical, onde as elevadas temperaturas potencializam os efeitos da evapotranspiração, o sistema de *wetland* implantado já se mostra uma boa alternativa no tratamento de efluente sanitário.

As remoções de poluentes obtidas, em termos de concentração, no *wetland*, até o momento, foram na ordem de 70,4% para DQO, 46,3% para sólidos suspensos totais, 56,5 % para sólidos suspensos voláteis, 73,4% para DBO, 61,7 para amônia e 20,4 para fosfato. Analisando-se os três últimos parâmetros (DBO, Amônia e fosfato) em termos de carga poluidora, ou seja, considerando o efeito de redução de volume do afluente ao *wetland* em relação ao seu efluente, a remoção percentual do sistema aumenta respectivamente para 81,2%, 74,6% e 42,6%.

Cabe destacar, que a eficiência de remoção de todo o sistema, ou seja, incluindo o tratamento primário da ETE, é ainda maior do que o apresentado, pois o sistema de tratamento conta com uma etapa primária.

As taboas utilizadas no processo, tem se mostrado até o momento, bastante resistente às variações de qualidade do efluente sanitário na entrada do *wetland*. A vegetação não tem apresentado sinais de morte e nem perda de viço.

## DISCUSSÃO

O baixo custo de construção, a fácil operação e manutenção quanto se comparado a outros métodos de tratamento, o fato do tratamento acontecer *in situ*, demonstrou que a utilização dos *wetlands*, podem ser alternativa tecnológica para o pós tratamento de esgoto sanitário, principalmente em pequenas comunidades. Destaca-se que não foi utilizado qualquer produto químico e tampouco energia elétrica no referido projeto.

Cabe ressaltar que o esgoto afluente utilizado no sistema, possui característica particular como uma grande variação na concentração, e na maioria das vezes concentração abaixo do encontrado na literatura, devido a influencia da introdução de águas pluviais na rede coletora conduzida à ETE. Destarte, é possível avaliar o comportamento do sistema sobre diferentes cargas orgânicas de entrada.

Para a referida Estação de Tratamento de Esgoto, ou seja, tratamento primário seguido de *wetland* construído espera-se uma eficiência acima de 80% de DBO ou concentração de saída inferior a 60 mg/L de DBO, atendendo assim o padrão de lançamento da DZ 215.R4 do INEA-RJ.

## REFERÊNCIAS

APHA (2005), Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF), 21th ed., New York.

CAMPOS, Juacyara Carbonelli, Ferreira, João Alberto, Manarinno, Camille Ferreira(2003), Uso de *wetland* de fluxo sub-superficial no tratamento de chorume por lodo ativado. Trabalho Final de Mestrado em Engenharia Ambiental Modalidade: Dissertação.

DZ 215.R4 do INEA-RJ (2007). Diretriz de Controle de Carga Orgânica Biodegradável em Efluentes Líquidos de Origem não Industrial.

FILHO, BC, Neto, COA et al (2010). Pós-tratamento de efluentes anaeróbicos por sistemas de aplicação no solo, PROSAB:

SOUSA, JT et al (2009). Pós-tratamento de efluentes de reatores UASB utilizando sistemas “*wetlands*” construídos.