



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JULIO DE MESQUITA FILHO”
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS



Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em ENGENHARIA AMBIENTAL

**USO DE SISTEMAS CONSTRUÍDOS DE ÁREAS ALAGADAS (CONSTRUCTED
WETLAND SYSTEM - CWS) PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES**

Lucas Figueiras Cioni

Rio Claro (SP)

2010

LUCAS FIGUEIRAS CIONI

**USO DE SISTEMAS CONSTRUÍDOS DE ÁREAS
ALAGADAS (CONSTRUCTED WETLAND SYSTEM -
CWS) PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES**

*Trabalho de Formatura apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências
Exatas, Campus de Rio Claro (SP), da
Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de
Engenheiro Ambiental.*

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Sâmia Maria Tauk-Tornisielo

Rio Claro - SP
2010

628.1 Cioni, Lucas Figueiras
C576u Usos de sistemas construídos de áreas alagadas
(Constructed Wetland System - CWS) para tratamento de
efluentes / Lucas Figueiras Cioni. - Rio Claro : [s.n.], 2010
43 f. : il., figs., tabs., fots.

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) -
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas

Orientador: Sâmia Maria Tauk Tornisielo

1. Abastecimento de água. 2. Nutrientes. 3. Coliformes. 4.
Eficiência. 5. Wetland. I. Título.

LUCAS FIGUEIRAS CIONI

USO DE SISTEMAS CONSTRUÍDOS DE ÁREAS
ALAGADAS (CONSTRUCTED WETLAND SYSTEM -
CWS) PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES

*Trabalho de Formatura apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas,
Campus de Rio Claro (SP), da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
para obtenção do grau de Engenheiro
Ambiental.*

Comissão Examinadora

Sâmia Maria Tauk Tornisielo
Gina Mario de Palma Silva
Enéas Salati Filho

Rio Claro, 18 de novembro de 2010.

Lucas Figueiras Cioni

Sâmia Maria Tauk Tornisielo

AGRADECIMENTOS

A Prof^a. Dr^a Sãmia Maria Tauk-Tornisielo, pela orientaçaõ e apoio.

Ao Dr^o. Enéas Salati Filho, pelo financiamento e auxilio no projeto.

A Eleni e a Francisca, pelo auxilio e paciência no laboratório.

Aos companheiros de estudo: Daniel (Laranjinha) e Felipe (Ney), pelas trocas de materiais, discussões e conversas descontraídas.

A Sara, Érica e Roberta, por toda a disponibilidade e cooperação.

Aos amigos da República 7 Anões: Jabuti, Jão, Laranjinha, Sushi, Ohmo, De Deus, Biral, Jamal e Avatar, pelos anos de convivência e amizade.

A todos os amigos que fiz, os quais tornaram esses anos os melhores possíveis.

A minha família, por todo apoio e ajuda mesmo estando longe.

“A Terra é um ser vivo
do qual somos o sistema nervoso.”

James Lovelock

USO DE SISTEMAS CONSTRUÍDOS DE ÁREAS ALAGADAS (CONSTRUCTED WETLAND SYSTEM - CWS) PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES

RESUMO

Grande proporção da água doce encontra-se muito prejudicada em decorrência à crescente poluição, esta poderia ser minimizada através da ampliação de programas de investimentos em saneamento. Porém o grande problema enfrentado pelos países do terceiro mundo e por aqueles em desenvolvimento, quanto a este aspecto, é o alto custo dos projetos e de suas implantações. Na tentativa de se encontrar uma tecnologia simples, eficiente e de baixo custo, este trabalho teve como objetivo verificar a eficiência do uso de sistemas construídos de áreas alagadas (CWS) para remoção de bactérias e de nutrientes dos efluentes de esgoto sanitário provenientes da ETE Piracicamirim – Piracicaba - SP. A montagem dos protótipos foi acompanhada, e os ensaios prévios para a regularização da vazão realizada, porém devido ao mal funcionamento dos mesmos e por paralisações de atividade da própria ETE não se pode avaliar a eficiência dos mesmos quanto aos parâmetros propostos: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, condutividade, sólidos totais dissolvidos (STD), nitrito, nitrato, amônia, nitrogênio total, fósforo total, demanda química de oxigênio (DQO), sulfeto, sulfato, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), coliformes totais e *Escherichia coli*. Para se estabelecer resultados acerca da eficiência desses tipos de sistemas, revisões bibliográficas foram realizadas de trabalhos já publicados com o mesmo tema. A análise dessas revisões demonstrou que os CWSs acarretam eficiências satisfatórias para tratamento de efluentes, principalmente no que diz respeito a nutrientes e coliformes.

Palavras-chave: efluente; ETE Piracicamirim; wetlands; sistemas construídos de áreas alagadas; nutrientes; coliformes.

USE OF CONSTRUCTED WETLAND SYSTEM (CWS) FOR EFFLUENT TREATMENT OF SEWAGE

ABSTRACT

A large proportion of fresh water is greatly impaired due to increasing pollution; this could be minimized through the expansion of investment in sanitation programs. But the major problem faced by third world countries and developing ones in this respect, is the high cost of projects and their implementation. In an attempt to find a simple technology, efficient and inexpensive, this study aimed to verify the effectiveness of using constructed wetland systems (CWS) for removal of bacteria and nutrients from sanitary sewer effluent from the STS Piracicamirim - Piracicaba - SP. The installation of prototypes was followed, and testing prior to regularize the flow held, but due to malfunction of these and outages of the STS activity can not evaluate the effectiveness of both as to the parameters proposed: temperature, pH, dissolved oxygen, conductivity, total dissolved solids (TDS), nitrite, nitrate, ammonia, total nitrogen, total phosphorus, chemical oxygen demand (COD), sulfide, sulfate, biochemical oxygen demand (BOD), total coliform and *Escherichia coli*. To establish results about the effectiveness of these types if the system were conducted literature reviews of papers published with the same theme. Analysis of these results showed fairly good efficiencies in wastewater treatment, especially for nutrients and coliforms.

Keywords: effluent; STS Piracicamirim; constructed wetlands systems; efficiency; nutrients; coliforms.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista aérea da ETE – Piracicamirim, Piracicaba - SP (PASSIG et al. 1999)	20
Figura 2. Tubulação interna das caixas.	22
Figura 3. Válvulas de controle de vazão.....	23
Figura 4. Tubulação dentro da caixa e válvulas de controle de vazão.	23
Figura 5. Registro de controle de vazão.	24
Figura 6. Interior das caixas (cascalho e pedregulho)	24
Figura 7. Ilustração do Sistema das CWSs de fluxo ascendente com inoculação.....	25
Figura 8. Cultivo de arroz nos protótipos.....	26
Figura 9. Sistemas vegetados e em funcionamento.....	27
Figura 10. Vista panorâmica dos sistemas em funcionamento.....	27

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Análises dos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos.	29
Tabela 2. Análises dos parâmetros biológicos.....	29
Tabela 3. Resultados e eficiências dos parâmetros analisados no Sistema de Solos Filtrantes de Fluxo Ascendente.	32
Tabela 4. Resultados e eficiências dos parâmetros analisados no Sistema de Solos Filtrantes de fluxo descendente.	33
Tabela 5. Eficiência Total do Sistema de Solos Filtrantes (Sistema D.H.S.).....	34
Tabela 6. Resultados e eficiências dos parâmetros analisados no Canal de Macrófitas Aquáticas Flutuantes.	35
Tabela 7. Resultados e eficiências finais dos parâmetros analisados no Sistema de Wetlands.	35
Tabela 8. Eficiência dos parâmetros no tratamento das águas do rio Piracicaba.	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
4	MATERIAL E MÉTODOS	20
	4.1 Local	20
	4.2 Material	21
	4.2.1 <i>Macrorganismos</i>	21
	4.2.2 <i>Material para CWS, em escala piloto.</i>	21
	4.2.3 <i>Vidrarias, Reagentes e Equipamentos</i>	21
	4.2.4 <i>Efluente da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) - Piracicamirim – SEMAE, Piracicaba</i>	21
	4.3 Métodos	22
	4.3.1 <i>Fase preliminar</i>	22
	4.3.2 <i>Funcionamento dos Sistemas</i>	26
	4.3.3 <i>Análise dos efluentes</i>	27
	4.3.4 <i>Análise estatística e interpretação dos dados obtidos</i>	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
6	CONCLUSÕES	38
7	RECOMENDAÇÕES	39
8	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

A formação de água sobre a Terra permitiu a aparição das primeiras formas de vida, há aproximadamente 3,5 bilhões de anos: água é sinônimo de vida. Para o corpo humano, a carência deste líquido é muito mais danosa que por falta de alimento sólido: pode-se jejuar um mês sem perigo considerável, mas a partir de 48 horas sem água o risco é grande (LEPARGNEUR, 2004). Primordial à vida, esse recurso natural é imprescindível ao equilíbrio ecológico, bem como ao desenvolvimento da sociedade, estando intrinsecamente ligada à evolução da espécie humana. Dada tamanha importância, seria um absurdo não tratar este bem com a devida responsabilidade. Mas é exatamente isso que acontece.

A água disponível para consumo humano representa uma pequena parcela da grande porção existente na Terra – somente 1% é água doce, armazenada em rios, lagos e lençóis subterrâneos (REBOUÇAS et al., 1999), um percentual ínfimo considerando-se a quantidade total de água que ainda se encontra no planeta. Essa afirmação, contudo, não está “enraizada” no pensamento de diferentes populações, principalmente naquelas de regiões de clima tropical, onde há abundância de água (MONTEIRO, 2005).

Nas últimas décadas, o exacerbado crescimento populacional mundial, conjuntamente com a rápida industrialização desencadeou um aumento da poluição dos corpos hídricos como córregos, rios, lagos e represas, excluindo suas águas, na maior parte do ano, dos limites estabelecidos pela legislação quanto aos níveis de potabilidade (BORGES, 2005). O inadequado ou ausente tratamento de resíduos e efluentes gera problema ambiental gradual, com inúmeros impactos negativos (CUNHA, 2006) e o surgimento de doenças de veiculação hídrica, que historicamente dizimaram populações. As características físicas, químicas, físico-químicas e biológicas da água condicionam o desenvolvimento da biota presente em certo ecossistema (MONTEIRO, 2005).

Apesar de várias cidades já apresentarem tratamento de esgoto no Brasil, muitas delas, tem uma parcela significativa, de 57% dos domicílios particulares urbanos, não apresentando nem ao menos conexão com uma rede coletora de esgoto (IBGE, 2002). Já de acordo com um dado paralelo do SNIS (2006) o atendimento urbano por coleta de esgoto é de 48%. Porém ainda segundo dados do SNIS (2006) destes quase 50% coletado, apenas 30% passam por algum tipo de tratamento, totalizando por esta fonte, apenas 15% do esgoto gerado no país passando por algum tipo de tratamento.

Na questão do saneamento, porém, apenas o índice de coleta de esgoto não significa um agravante sanitário por si só. Diversos países apresentam condições onde o tratamento de esgoto é feito individualmente pelos domicílios, dispensando a rede coletora. O tratamento individual pode ser vantajoso, como com a utilização de tanques sépticos, quando corretamente operado, e seu efluente final adequadamente disposto. Porém no caso brasileiro, os tanques sépticos são em sua grande maioria mal operadas, não cumprindo com sua função sanitária (CHERNICHARO, 2007).

Esse quadro da situação atual persiste devido à carência de projetos de educação ambiental abrangentes, que conscientizem e despertem o inconformismo na grande massa da população, além da ampliação do saneamento, normas rígidas e fiscalização quanto às fontes poluidoras e aproveitamento do promissor material humano presente nas universidades e órgãos de pesquisa (BORGES, 2001).

Diante dessa situação, surge então a necessidade de sistemas alternativos que possam minimizar os efeitos da industrialização e desenvolvimento desenfreado da humanidade, solucionando problemas do homem contemporâneo. Os sistemas usando áreas alagadas podem ser: naturais, induzidas ou construídas. Os sistemas construídos de áreas alagadas (CWSs) são sistemas artificialmente projetados utilizando-se macrófitas aquáticas e substratos como areia, cascalho, brita ou material inerte, onde ocorre a proliferação de biofilmes que agregam populações variadas de microrganismos os quais, por meio de processos biológicos, químicos e físicos, tratam as águas residuárias (SOUSA et al., 2000).

As áreas alagadas estão entre os ecossistemas mais produtivos existentes na Terra e são capazes de transformar poluentes comuns, que ocorrem em águas residuárias, em produtos inofensivos ou em nutrientes essenciais utilizados para a produtividade biológica adicional. Tais transformações são conduzidas por energias ambientais naturais e por isso, o tratamento utilizando esse sistema tem como principal objetivo a melhoria da qualidade da água sem a necessidade do uso de substâncias químicas adicionais, além de objetivos secundários, tais como: produção fotossintética, produção de energia entre outros (KADLEC e KNIGHT, 1996)

Nesse contexto, os sistemas construídos de áreas alagadas “Constructed Wetlands System” (CWS) tornam-se uma opção viável ao se tratar efluentes; em termos econômicos, pelo seu baixo custo de construção e manutenção. Em termos operacionais, este sistema constitui em um funcionamento simplificado e eficiente; na esfera ecológica, devido a seu apelo “verde” graças ao uso de macrófitas, proporcionam uma ótima estética paisagística, e

seu caráter sustentável, por requerer baixíssimo uso de energia elétrica e a ausência de processos químicos intensivos e complexos (NOGUEIRA, 2003). A maior questão quanto ao custo situa-se no custo da terra e do recobrimento dos tanques com impermeabilizantes.

Diversas técnicas de *CWS* foram desenvolvidas nos últimos anos e a escolha do tipo de configuração a ser utilizada deve se dar de acordo com as características do efluente a ser tratado, da eficiência final desejada para os diferentes parâmetros, do interesse da utilização da biomassa produzida e também do interesse paisagístico.

2 OBJETIVOS

Neste estudo foram desenvolvidas atividades que visavam estabelecer o efluente de esgoto sanitário na legislação vigente, através da análise e quantificação de parâmetros afim de que atendam à Resolução CONAMA nº 357/05 (Legislação Federal) (BRASIL, 2005) e o Decreto Estadual de nº 8468/76 (Legislação Estadual/CETESB) (SÃO PAULO, 1976). Foram estabelecidos os seguintes objetivos:

- Estabelecer a eficiência do CWS em escala piloto com protótipos, vegetados com arroz (*Oryza sativa*) em fluxo ascendente com inoculação.
- Realizar análises de parâmetros que caracterizam a qualidade do esgoto sanitário e a eficiência dos protótipos de CWSs.
- Revisar resultados obtidos com protótipos de CWS realizados em diferentes estudos encontrados na literatura e discutir sobre as melhores tendências acerca da sua utilização.
- Comparar o método ecologicamente correto dos wetlands com métodos tradicionais de tratamento de efluentes.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os efluentes gerados pelas atividades humanas, de maneira geral, causam diversos problemas, tanto para os corpos aquáticos nos quais são despejados, quanto para o próprio homem, dependente direto dos benefícios concebidos pelas águas do referido local. A qualidade da água pode ser representada por diversos parâmetros, que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas, atendendo a rigorosos padrões, que dependem do uso ao qual este bem se destina.

Dentre os efluentes gerados pelo homem, o efluente doméstico merece atenção por estar intrinsecamente ligado à questão sanitária (ARAÚJO, 2003), estes possuem compostos biodegradáveis, nutrientes e bactérias, entre outros. Os despejos industriais, além desses compostos, apresentam ampla variabilidade de suas características qualitativas, o que dificulta uma generalização dos valores mais comuns (VON SPERLING, 2005). O escoamento superficial urbano contém todos os poluentes que se depositam na superfície do solo, os quais são arrastados para os cursos de águas superficiais pelo regime pluvial. O escoamento superficial agrícola depende das práticas utilizadas em cada região, da época do ano em que se realiza a preparação do terreno para o plantio, da aplicação de incrementos agrícolas e da colheita (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB, 1998).

O grande problema originado pelos poluentes orgânicos como esgotos, detergentes e fertilizantes é a eutrofização. Ela é definida como o crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, causando interferências nos usos desejáveis do corpo de água. As algas, cianobactérias e macrófitas que se desenvolvem em grande quantidade alteram a qualidade da água, seja através de sua degradação, sejam através de metabólitos que causam sabor, odor, toxinas, turbidez elevada e até inconvenientes nas estações de tratamento de água. Alguns microrganismos causam o entupimento de filtros de areia (COLLETTI, 2008); já outros organismos podem obstruir a navegação e causar mudanças para as espécies de peixes menos nobres, entre outros problemas.

A autodepuração é um fenômeno lento, correlativo à quantidade e à concentração de matéria orgânica lançada no ecossistema aquático, ao seu volume e vazão, e à sua capacidade de reaeração. Desse modo, o tratamento do efluente a ser descarregado no leito dos rios e lagos se faz inevitável. Estratégias de saneamento são utilizadas, porém não são tão viáveis

nos países de terceiro mundo ou aqueles em desenvolvimento, principalmente, pelos altos custos dos projetos e implantação (BORGES, 2001).

No caso do esgoto sanitário, este merece destaque, pois se constitui de parcelas de esgoto doméstico e industrial, águas de infiltração e contribuições pluviais parasitárias. Compõem-se em média de 99,9% de água e uma fração de sólidos de apenas 0,1%, porém com um número muito grande de substâncias. Portanto utiliza-se de parâmetros físicos, químicos e biológicos para determinar o grau da poluição de um efluente. A parte líquida nada mais é que um meio de transporte da parte sólida. Esta sim caracteriza os poluentes e contaminantes presentes na água resíduária a qual se pretende tratar (BRAGA et al., 2006).

Dentre os resíduos encontra-se aquele proveniente de esgoto doméstico constituído basicamente de conteúdo orgânico, tanto em solução, como na forma de sólidos em suspensão, resultando em elevados teores de demanda química de oxigênio (DQO) (RINZEMA et al., 1994 apud RIGO, 2004). A contaminação ambiental por disposição indevida de resíduos pode até mesmo comprometer gravemente um ecossistema. Os resíduos domésticos são basicamente águas de banho, urina, fezes, restos de comida, sabões, detergentes e águas de lavagem (BRAGA et al., 2006).

Uma prática de menor custo e ecologicamente correto no tratamento de efluentes são os Sistemas de áreas alagadas naturais e construídas, estes vêm sendo desenvolvidos no Velho Mundo e nos Estados Unidos desde os anos 70 (BORGES, 2005) e constantemente aperfeiçoados desde então. Através de simples processos físicos e biológicos (filtração, sedimentação, adsorção/absorção, biodegradação) que ocorrem nos biofilmes microbianos formados entre a rizosfera e o substrato sólido (TANNER, 1996 apud BITAR, 2006), observou-se seu poder em transformar, reciclar, reter e remover inúmeros materiais poluentes, destacando-se os compostos orgânicos (WALLACE, 1998), nutrientes eutrofizantes e contaminação fecal de esgotos e águas superficiais (HAMMER, 1989).

A utilização de CWS evidencia-se pela sua capacidade de remoção da carga poluidora, não só reduzindo o aquecimento global da Terra, mas também fixando o carbono do ambiente e mantendo o equilíbrio de CO₂, além de conservar a biodiversidade (KOGA, 2008). A propriedade de se adaptar a diversas circunstâncias permite aos CWS tratar com êxito, efluentes agrícolas, industriais e domésticos (SCHULZ et al., 2003).

Os sistemas vêm sendo cada vez mais pesquisados e utilizados por possuírem tecnologia simples e de fácil operação, servindo-se de princípios básicos de remoção de poluentes, um

alto grau de controle de suas atividades, além de um caráter ecologicamente correto e economicamente viável, no tratamento das águas em geral (CHAGAS, 2008).

Colletti (2008) definiu os CWSs como um sistema natural baseado na associação entre macrófitas, microrganismos como fungos, bactérias e algas, interagindo dinamicamente entre si e com os elementos físico-químicos presentes no solo. Kadlec e Knight (1996) relataram que estes sistemas apresentam capacidade de remoção de nutrientes. Além disso, esta pode ser afetada por diversas circunstâncias, dentre elas o tipo de solo, substrato (matriz suporte) empregado, meteorologia, hidrologia, hidrodinâmica, flora e fauna e a operação e manejo do sistema.

Os bons resultados do tratamento da água e efluentes em CWS são intensificados com o uso de macrófitas, uma vez que estas recriam e realça o ciclo equilibrado aeróbio/anaeróbio do solo, o que possibilita a existência de todo tipo de bactérias (aeróbias, anaeróbias e facultativas), imprescindíveis para os processos (SHUTES, 2001). Essas plantas promovem a estabilização do substrato, aumentando sua porosidade, podem impedir a obstrução do fluxo causada pela produção de detritos, absorvem e armazenam nutrientes, prevenindo a formação de sulcos no substrato e proporcionando um valor estético para estes sistemas. As macrófitas utilizadas, porém, necessitam inicialmente de um período para se adaptarem às condições do novo habitat. Esse período crítico é definido através da estabilização do CWS. Para se obter remoções de poluentes e bons resultados, as escolhas das espécies de macrófitas devem ser muito bem realizadas (LAUTENSCHLAGER, 2001).

O monitoramento dos parâmetros biogeoquímicos de CWS para o tratamento de esgoto concluiu que este sistema foi eficiente para remoção da carga orgânica e de nutrientes, mas esta não se sustentaria em longo prazo, pois poderia ocorrer deficiência na oxigenação do efluente e substrato, além de sua colmatção (NOGUEIRA, 2003). Quando existem erros de construção neste sistema e o desempenho do canal de aguapés é insuficiente devido ao manejo inadequado, ocorre deficiência na oxigenação, desfavorecendo a exportação de nutrientes como nitrogênio e fósforo, bem como a retirada de matéria orgânica. A eficiência de remoção de nutrientes, sobretudo nitrogênio e fósforo, em sistemas wetland é satisfatória. No entanto, após certo tempo de operação ocorre decaimento substancial dessa eficiência (SOUSA et al., 2000).

Apesar da potencialidade dos alagados naturais em controlar o fluxo de nutrientes e poluentes, esforços conservacionistas inibiram o uso destas para propósitos aplicados, uma vez que há ainda muito para se estudar sobre as possíveis consequências do seu uso em larga

escala. Estes e outros fatores levaram ao rápido desenvolvimento de estudos em áreas alagadas construídas para o tratamento de águas residuárias (HAMMER e BASTIAN, 1989).

Monteiro (2005) estudou protótipos de CWS para tratamento de efluente de piscicultura, mostrando que este sistema contendo solo e agregado possibilita o tratamento mais rápido do efluente nos primeiros dias de tratamento. Após a estabilização dos sistemas estudados, verificou-se que no sistema contendo apenas caco de tijolo ou apenas solo, dependendo do parâmetro analisado, houve maior eficiência. As eficiências máximas foram atingidas após 15 dias de tratamento e o uso de policulturas possibilitou melhores resultados quando comparados ao uso isolado de *Eichhornia crassipes*.

Borges (2005) verificou a redução satisfatória de bactérias e de nutrientes de águas superficiais poluídas, através do uso de CWS contendo *Eichhornia crassipes*, melhores resultados em relação ao uso de *Pistia stratiotes*. As maiores eficiências encontradas se deram para: amônia, com 87,4%; DQO, com 47,2%; DBO₅, com 38,9%; fósforo total, com eficiência de 88,7%; redução de coliformes totais em 97% e redução de *Escherichia coli* em 99,2%.

Bitar (2006) também tratou efluente oriundo de pesque-pagues utilizando CWS, observando taxas de remoção de 97% para amônia, 92% para nitrogênio total, 66% para oxigênio dissolvido, 60% para fósforo total e 98% para DQO. O tratamento mais eficaz foi aquele contendo a mescla de solo filtrante e macrófitas com melhores resultados após 10 dias de tratamento, indicando que o CWS necessita de um tempo de adaptação para se obter respostas positivas significativas.

Cunha (2006) analisou os benefícios trazidos por um sistema combinado de áreas alagadas construídas na melhoria da qualidade das águas do Parque Ecológico do Tietê, em São Paulo, e a estação construída com diversas espécies de macrófitas, mostrou-se eficiente na remoção de sulfato (52%), DBO₅ (41 – 64%), fósforo total (51 – 68%) e nitrogênio amoniacal (57 – 84%). A falta de manejo no sistema também foi um problema encontrado, acarretando o retorno de nutrientes assimilados pelas macrófitas para a coluna de água (N, P, Fe) com a decomposição das plantas, e condições de anaerobiose nos solos filtrantes. A presença de animais no parque contribuiu para o baixo desempenho do canal de macrófitas e dos solos filtrantes na remoção de cor, turbidez, ferro total e coliformes em alguns meses de coletas.

O tratamento de efluentes originados por uma indústria de curtume usando protótipos de CWSs foi proposto por Zacarkim et al. (2006). O sistema possibilitou remoção considerável

de nutrientes. O tempo de detenção hidráulica (TDH) de 6 dias foi o mais eficiente nessa retirada. Houve redução para DQO (79,91%), fósforo total (83,51%), nitrogênio total (67,93%), concentrações totais de cromo (87,7%) e enxofre (52%).

A concentração dos poluentes nos efluentes é função das perdas no processo ou pelo consumo de água (GIORDANO, 2003). O uso de CWS é indicado para tratamento de efluentes de comunidades rurais (HAMMER, 1989), de industriais e urbanos (SAKADEVAN e BAVOR, 1999), como também nas pisciculturas (BITAR, 2006). As características dos efluentes industriais são inerentes à composição das matérias primas, das águas de abastecimento e do processo industrial.

As técnicas de alagados construídos foram bastante desenvolvidas nos últimos anos e podem ser divididas de acordo com o tipo de macrófita e tipo de fluxo hídrico utilizados. A escolha do sistema é feita a partir das características do efluente a ser tratado, da eficiência de remoção final desejada, de interesse de utilização da biomassa a ser produzida e do próprio interesse paisagístico (SALATI, 2000).

Os aspectos citados anteriormente quanto à eficiência do CWS, e a perspectiva de avaliar o desempenho de uma configuração nova de sistemas construídos de áreas alagadas (ascendente com inóculo) estimularam a investigação sobre o uso da técnica que apresente a configuração mais eficiente para tratamento do efluente sanitário proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Piracicamirim, localizada no município de Piracicaba, SP. Serão estudados os fatores ambientais do processo que ocorre no tratamento do efluente através de CWS, assim como as diferenças de eficiência, nas diferentes configurações dos protótipos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local

Os experimentos foram conduzidos na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) Piracicamirim, localizada no município de Piracicaba – SP, junto ao SEMAE (Figura 1). Esta é composta por um sistema de gradeamento mecanizado, seguido por uma caixa de areia aerada. Da caixa de areia o efluente passa então para três módulos de reatores anaeróbios de 2.772m^3 cada. Os efluentes dos reatores anaeróbios são encaminhados para uma lagoa aerada com volume de 8.624m^3 , onde 8 aeradores superficiais de alta rotação e fluxo descendente de 15CV realizam a operação. A lagoa é seguida de decantadores secundários de placas paralelas, divididos em três módulos de 845m^3 cada. O efluente final passa por um canal aerado artificialmente, por calha Parshall e canal em cascata (PASSIG et al. 1999).



Figura 1. Vista aérea da ETE – Piracicamirim, Piracicaba - SP (PASSIG et al. 1999)

4.2 Material

4.2.1 *Macrorganismos*

Os protótipos foram todos vegetados com arroz (*Oryza sativa*) à semelhança do que foi realizado no CWS, no município de Analândia com verba do Fundo Nacional do Meio Ambiente (1990 – 1995).

4.2.2 *Material para CWS, em escala piloto.*

Reservatórios de água de plástico de aproximadamente 500 litros (0,5m³); tubos de policloreto de vinila (PVC) (¾”); conexões em três e cruzetas (¾”); registros gaveta (¾”); válvulas de esfera (¾”); registros borboleta (¾”) e mangueiras (¾”); brita; solo; vermiculita.

4.2.3 *Vidrarias, Reagentes e Equipamentos*

- Vidraria usual de laboratório de Química e Microbiologia;
- Reagentes específicos para os ensaios que se fizeram necessários;
- Autoclave vertical Fabe modelo 103;
- Homogenizador;
- Sonda YSI;
- Espectrofotômetro DR/2000 –HACH;
- Condutivímetro Digimed CD-2P;
- Termômetro digital;
- Espectrofotômetro de absorção atômica obtido pelo processo número 96/11105-9 da FAPESP;
- Reator de demanda química de oxigênio obtido pelo processo número 95/6331-9 da FAPESP.

4.2.4 *Efluente da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) - Piracicamirim – SEMAE, Piracicaba*

As amostragens foram efetuadas em 2 pontos, sendo localizados:

- 1) Efluente final da ETE Piracicamirim, provindo da lagoa de aeração;

2) Efluente tratado, após passar pelos sistemas CWS.

O fluxo contínuo do sistema com o efluente bruto se deu a uma vazão de $2\text{m}^3/\text{dia}$.

4.3 Métodos

4.3.1 Fase preliminar

Foram realizados alguns ensaios preliminares para definição da vazão e do tempo de detenção hidráulica (TDH) do efluente a ser usado, gerado na ETE Piracicimir, localizada no município de Piracicaba, SP. Os parâmetros a serem analisados foram determinados através da caracterização dos efluentes produzidos por esta ETE.

1ª Etapa – Montagem dos reatores para simulação dos CWSs

Os protótipos de CWS foram construídos em caixas plásticas de 500L ($0,5\text{m}^3$). “O sistema hidráulico era composto por: tubos de policloreto de vinila (PVC) ($\frac{3}{4}$ ”); conexões em três e cruzetas ($\frac{3}{4}$ ”); registros gaveta ($\frac{3}{4}$ ”); válvulas de esfera ($\frac{3}{4}$ ”); registros borboleta ($\frac{3}{4}$ ”) e mangueiras ($\frac{3}{4}$ ”) (Figuras 2 a 5).



Figura 2. Tubulação interna das caixas.



Figura 3. Válvulas de controle de vazão.



Figura 4. Tubulação dentro da caixa e válvulas de controle de vazão.



Figura 5. Registro de controle de vazão.

O interior das caixas foi composto por brita de granulometria média (pedregulho). O solo utilizado foi do tipo latossolo vermelho-amarelo, predominante na área de estudo. Este foi misturado com vermiculita e bagacilho de cana-de-açúcar, na proporção de 3% e 7% respectivamente, do seu volume total.



Figura 6. Interior das caixas (cascalho e pedregulho)

Foram construídos 03 protótipos para o experimento do CWS do tipo ascendente com inoculação. Os protótipos foram abastecidos simultaneamente com o efluente sanitário provindo da ETE Piracicamirim, com uma vazão constante de $2\text{m}^3/\text{dia}$. Cada sistema contou com duas caixas, interligadas entre si por uma tubulação de fluxo controlado (registro borboleta) que permitia a passagem do efluente de uma para outra. No total o efluente bruto era tratado através de seis reservatórios (três sistemas distintos) divididos e montados da seguinte maneira:

06 caixas contendo: arroz + agregado + solo, na configuração ascendente com inoculação.

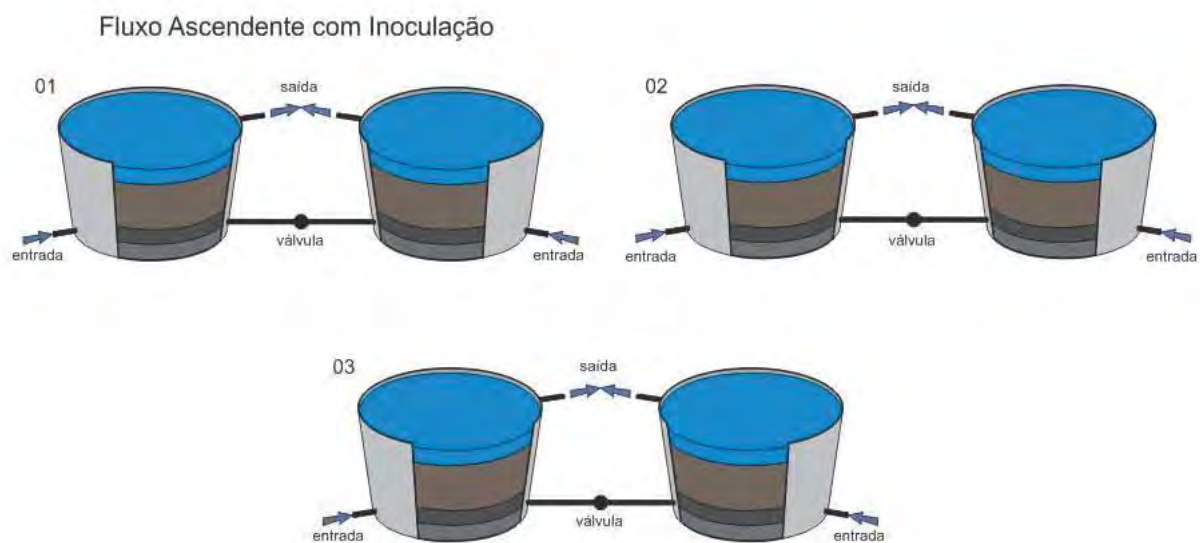


Figura 7. Ilustração do Sistema das CWSs de fluxo ascendente com inoculação.

2ª Etapa – Cultivo do arroz para cobertura dos reatores

O arroz foi cultivado nos próprios protótipos de CWSs. A realização dos experimentos com arroz se deu devido a sua robustez associada ao seu grande crescimento vegetativo.



Figura 8. Cultivo de arroz nos protótipos.

4.3.2 Funcionamento dos Sistemas

Os três sistemas operaram de forma contínua. O efluente bruto foi encaminhado a uma das caixas de cada sistema, entrava pela parte de baixo e saía por cima (fluxo ascendente). Após dez dias de tratamento nessas caixas a vazão de entrada foi desligada e o registro que ligava as caixas foi aberto permitindo o fluxo do efluente para a caixa até então vazia. Com a estabilização do sistema, o fluxo entre as caixas foi novamente interrompido, deixando cada uma com metade da sua capacidade, a vazão da caixa que havia descansado foi aberta e esta passou a receber o efluente bruto. O volume restante na outra caixa foi drenado e esta permanecia em descanso pelo período de dez dias. Novamente depois desse período de tratamento, os procedimentos foram novamente repetidos, sempre intercalando as caixas, mas mantendo o sistema em operação contínua.



Figura 9. Sistemas vegetados e em funcionamento.



Figura 10. Vista panorâmica dos sistemas em funcionamento.

4.3.3 Análise dos efluentes

As coletas foram realizadas na saída de cada protótipo, após passar pelo sistema de tratamento e no tanque usado para acúmulo do efluente de esgoto sanitário proveniente da ETE. A temperatura era medida na própria saída das caixas no momento da coleta. Para o armazenamento das amostras foram utilizadas garrafas de polietileno de 1L, guardadas em caixas térmicas para posterior análise laboratoriais.

As metodologias utilizadas nas análises das variáveis físicas, químicas, físico-químicas e biológicas do efluente estão apresentadas nas tabelas 1 e 2. Coliformes totais e *Escherichia coli* foram determinados com os kits Colilert (IDEXX Laboratories Inc. Westbrook, ME).

A eficiência dos sistemas foi calculada a partir da seguinte fórmula:

$$\text{Eficiência (\%)} = [(\text{Valor Efluente} - \text{Valor Após Tratamento}) \times \text{Valor Efluente}^{-1}] \times 100$$

Tabela 1. Análises dos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos.

Parâmetros Físico, Químicos e Físicoquímicos		
Variáveis	Métodos	Referência e Equipamentos
Temperatura	Método automatizado - leitura direta	Termistor – Horiba
pH	Método automatizado - leitura direta	Potenciométrica – Sonda YSI
Cor	Método automatizado – leitura direta	Espectrofotômetro – HACH DR/2000
Turbidez	Método automatizado – leitura direta	Turbidímetro – HACH DR/2000
Oxigênio Dissolvido (OD)	Método automatizado - leitura direta	Oxímetro – Sonda YSI
Condutividade	Método automatizado - leitura direta	Condutivímetro – Sonda YSI
Sólidos Totais Dissolvidos	Método automatizado - leitura direta	Sonda YSI
Salinidade	Método automatizado - leitura direta	Sonda YSI
Nitrito	Espectrofoto-métrica-Colorimétrica	Mackereth et al. (1978)
Nitrato	Espectrofoto-métrica-Colorimétrica	Mackereth et al. (1978)
Amônia	Espectrofoto-métrica-Colorimétrica	Korolef (1976)
Nitrogênio Total	Espectrofoto-métrica-Colorimétrica	Golterman et al. (1978)
Fósforo Total	Espectrofoto-métrica-Colorimétrica	APHA (1998)
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Espectrofotométrica-colorimétrica/Dicromato	APHA (1998)
Sulfeto	Espectrofotométrica- absorção atômica	APHA (1998)
Sulfato	Espectrofoto-métrica- absorção atômica	APHA (1998)

Tabela 2. Análises dos parâmetros biológicos.

Parâmetros Biológicos		
Variáveis	Métodos	Referências e Equipamentos
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅)	Incubação/Winkler	APHA (1998)

4.3.4 Análise estatística e interpretação dos dados obtidos

Esperando-se obter um maior número de coletas e conseqüentemente uma variedade maior de resultados através das análises laboratoriais seriam realizadas análises estatísticas dos diferentes parâmetros através da técnica de análise de variância fatorial, considerando como fatores de variação o dia da coleta e a configuração das caixas para descrever o comportamento das variáveis químicas, físicas, físico-químicas e biológicas do sistema. Estes seriam analisados estatisticamente com a análise não paramétrica ANOVA (analysis of variance) por ordenamento, no programa SAS (Statistical Analysis System). No entanto, o fato de apenas três análises laboratoriais terem sido realizadas e estas não apresentarem resultados concretos, impossibilitaram a análise e avaliação estatística dos dados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da eficiência dos protótipos dependiam sobretudo do funcionamento correto dos mesmos. Porém, no decorrer do experimento alguns problemas impediram seu funcionamento adequado. Primeiramente, a montagem das caixas, prevista para estar encerrada no final de 2009 só foi concluída em maio de 2010.

Com o termino da montagem delimitou-se a vazão e o sistema foi colocado para funcionar. Após dez dias de tratamento nos simuladores, ao realizar o que seria a primeira coleta, observou-se que capivaras haviam invadido o local do experimento e comido todo o arroz que vegetava os protótipos, além disso o solo havia sido compactado e o sistema se encontrava desligado.

Após novos ensaios para delimitação da vazão o sistema foi novamente colocado em funcionamento, porém sem a presença do arroz. Durante um mês, o sistema se manteve em funcionamento contínuo e três coletas para análise laboratorial foram realizadas durante os meses de junho e julho de 2010. Após este período, o sistema teve de ser desligado novamente por mal funcionamento e comprometimento dos dados de vazão. Problemas com a ETE Piracicamirim que passa por reformas na sua lagoa de aeração também impossibilitaram o restabelecimento das atividades do experimento.

A realização de apenas três coletas impossibilitou uma análise mais concreta acerca da eficiência dos mesmos, por conta disso optou-se por não utilizar os dados, afim de não se obter resultados premeditados.

Resultados mais concretos puderam ser obtidos através de uma revisão bibliográfica sobre o tema. Procurou-se estudos relativamente semelhantes ao proposto, com dados que pudessem dar uma idéia da provável eficiência dos protótipos.

Salati Filho (2000) avaliou a eficiência de sistemas construídos de áreas alagadas. A Estação de Tratamento Terciário de Esgoto Doméstico de Porangaba – SP era composta por um sistema combinado de Solos Filtrantes (Sistema D.H.S) com fluxo ascendente e descendente de maneira sequencial, seguido por um Canal de Macrófitas Flutuantes. O período estudado foi de abril de 1999 a junho de 2000. Os resultados de eficiência média obtidos no período de 1 ano para os parâmetros avaliados encontram-se nas tabelas 3 a 7.

Tabela 3. Resultados e eficiências dos parâmetros analisados no Sistema de Solos Filtrantes de Fluxo Ascendente.

Parâmetros	Unidades	Solo Filtrante – Fluxo Ascendente		Eficiência (%)
		Entrada	Saída	
Turbidez	UNT	38,60	23,55	39,00
Cor	Pt/Co	274,13	193,5	29,41
DBO ₅	mg.L ⁻¹	44,25	20,90	52,77
DQO	mg.L ⁻¹	213,55	111,80	47,65
Nitrato	mg.L ⁻¹	3,73	2,75	26,27
Nitrito	mg.L ⁻¹	4,00	3,13	21,75
Amônia	mg.L ⁻¹	15,02	16,9	-12,52
Nitrogênio Total	mg.L ⁻¹	28,00	28,67	-2,40
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	1,28	1,05	18,00
C – Orgânico	mg.L ⁻¹	6,96	3,56	48,85
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	75435	12517	83,41
Coliforme Total	NMP/100 ml	107717	28400	73,64

Fonte: Salati Filho, E. – Comunicação pessoal

O Sistema de Solos Filtrantes de Fluxo Ascendente apresentou eficiência satisfatória para a maioria dos parâmetros analisados, destacam-se principalmente *Escherichia coli* e coliformes totais que obtiveram eficiência de 83,41 e 73,64% respectivamente. Os parâmetros como nitrogênio total e amônia obtiveram eficiência negativa (-2,40 e -12,52%, respectivamente), resultados no entanto considerados normais uma vez que os microrganismos presentes no sistema estão fixando o nitrogênio através de processos bioquímicos.

Tabela 4. Resultados e eficiências dos parâmetros analisados no Sistema de Solos Filtrantes de fluxo descendente.

Parâmetros	Unidades	Solo Filtrante – Fluxo Descendente		Eficiência (%)
		Entrada	Saída	
Turbidez	UNT	23,55	16,30	30,80
Cor	Pt/Co	193,5	132,88	31,33
DBO ₅	mg.L ⁻¹	20,90	25,13	-20,23
DQO	mg.L ⁻¹	111,80	95,73	14,37
Nitrato	mg.L ⁻¹	2,75	2,49	9,45
Nitrito	mg.L ⁻¹	3,13	2,62	16,29
Amônia	mg.L ⁻¹	16,9	15,08	10,77
Nitrogênio Total	mg.L ⁻¹	28,67	26,90	6,17
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	1,05	0,64	39,05
C – Orgânico	mg.L ⁻¹	3,56	4,22	-18,53
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	12517	1350	89,22
Coliforme Total	NMP/100 ml	28400	4571	83,90

Fonte: Salati Filho, E. – Comunicação pessoal

O Sistema de Solos Filtrantes de Fluxo Descendente também apresentou eficiências satisfatórias para a maioria dos parâmetros analisados, porém menores do que o anterior (fluxo ascendente). Destaque novamente para *Escherichia coli* e Coliformes Totais (89,22 e 83,9% respectivamente) e para a eficiência positiva na remoção de nitrogênio total e amônia (6,17 e 10,77%, respectivamente). Há de se observar, porém, que a concentração de DBO₅ aumentou de 20,9 mg.L⁻¹ na entrada para 25,13 mg.L⁻¹ na saída, um aumento de 20,23%. Outra concentração que apresentou aumento nos dados de entrada e de saída foi a de C – Orgânico, que passou de 3,56 mg.L⁻¹ para 4,22 mg.L⁻¹, aumento de 18,53%.

Verificou-se que o Sistema de Solos Filtrantes apresentou eficiências totais médias para a maioria dos parâmetros, variando na margem de 30 a 60%. Parâmetros como *Escherichia coli* e coliformes totais obtiveram excelente desempenho de remoção, com eficiências acima de 95%. Outros parâmetros, no entanto, obtiveram eficiências insatisfatórias, são os casos de nitrogênio total em que apresentou somente 3,93% de eficiência de remoção, e amônia, para o qual não apresentou nenhuma eficiência de remoção, por outro lado, as concentrações iniciais de 15,02 mg.L⁻¹ passaram a 15,08 mg.L⁻¹ no final do sistema (-0,4%).

Tabela 5. Eficiência Total do Sistema de Solos Filtrantes (Sistema D.H.S.).

Parâmetros	Eficiência Total (%)
Turbidez	57,80
Cor	51,53
DBO ₅	43,21
DQO	55,17
Nitrato	33,24
Nitrito	34,5
Amônia	-0,40
Nitrogênio Total	3,93
Fósforo Total	50,0
C – Orgânico	39,40
<i>Escherichia coli</i>	98,21
Coliforme Total	95,76

Fonte: Salati Filho, E. – Comunicação pessoal

Mecanismo seguinte aos Sistemas de Solos Filtrantes, o Canal de Macrófitas Aquáticas Flutuantes (M.A.F.) apresentou eficiências relevantes na remoção de alguns parâmetros analisados (entre 30 e 80%). Concentrações que já chegaram baixas no sistema, foram ainda reduzidas, como por exemplo nitrato (2,49 mg.L⁻¹ para 2,43 mg.L⁻¹), nitrito (2,62 mg.L⁻¹ para 1,00 mg.L⁻¹) e fósforo total (0,64 mg.L⁻¹ para 0,43 mg.L⁻¹). Outras como amônia, que no Sistema D.H.S. apresentou aumento de concentração, no sistema de macrófitas passou de 15,08 mg.L⁻¹ para 5,53 mg.L⁻¹, eficiência de 63,33%.

Tabela 6. Resultados e eficiências dos parâmetros analisados no Canal de Macrófitas Aquáticas Flutuantes.

Parâmetros	Unidades	Canal M.A.F.		Eficiência (%)
		Entrada	Saída	
Turbidez	UNT	16,30	4,13	74,66
Cor	Pt/Co	132,88	58,63	55,88
DBO ₅	mg.L ⁻¹	25,13	14,25	43,30
DQO	mg.L ⁻¹	95,73	56,89	40,57
Nitrato	mg.L ⁻¹	2,49	2,43	2,41
Nitrito	mg.L ⁻¹	2,62	1,00	61,80
Amônia	mg.L ⁻¹	15,08	5,53	63,33
Nitrogênio Total	mg.L ⁻¹	26,90	11,63	56,77
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	0,64	0,43	32,80
C – Orgânico	mg.L ⁻¹	4,22	2,58	38,86
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1350	245	81,85
Coliforme Total	NMP/100 ml	4571	1935	57,67

Fonte: Salati Filho, E. – Comunicação pessoal

Tabela 7. Resultados e eficiências finais dos parâmetros analisados no Sistema de Wetlands.

Parâmetros	Unidades	Sistema “Wetland”		Eficiência (%)
		Entrada	Saída	
Turbidez	UNT	38,60	4,13	89,30
Cor	Pt/Co	274,13	58,63	78,61
DBO ₅	mg.L ⁻¹	44,25	14,25	67,80
DQO	mg.L ⁻¹	213,55	56,89	73,36
Nitrato	mg.L ⁻¹	3,73	2,43	34,85
Nitrito	mg.L ⁻¹	4,00	1,00	75,00
Amônia	mg.L ⁻¹	15,02	5,53	63,18
Nitrogênio Total	mg.L ⁻¹	28,00	11,63	58,46
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	1,28	0,43	66,41
C – Orgânico	mg.L ⁻¹	6,96	2,58	63,00
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	75435	245	99,68
Coliforme Total	NMP/100 ml	107717	1935	98,20

Fonte: Salati Filho, E. – Comunicação pessoal

Como resultado final, o Sistema de Wetlands Construídos (Sistema D.H.S. e Canal de Macrófitas Aquáticas Flutuantes) apresentou excelentes percentuais de eficiência nos parâmetros analisados, com variação aproximada de 35 à quase 100%. O sistema se comportou bem, principalmente no que diz respeito à remoção de *Escherichia coli*, coliformes

totais e turbidez. Parâmetros como a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) também atingiram resultados satisfatórios. Outros parâmetros como fósforo total e nitrogênio total atingiram bons níveis de remoção. Devem-se levar em conta os diferentes níveis de concentração dos parâmetros analisados, alguns chegaram ao sistema em concentrações altíssimas e por isso obtiveram níveis elevados de eficiência de remoção, outros por sua vez entraram no sistema já com baixas concentrações, e por isso não obtiveram tanto percentual de eficiência de remoção.

O CWSs também foi estudado por Manfrinato (1989), neste foi avaliada a eficiência de sistemas construídos de áreas alagadas para o tratamento preliminar das águas do rio Piracicaba, no período entre junho de 1986 a junho de 1987. Uma planta piloto foi construída as margens do rio Piracicaba, e a eficiência de duas configurações diferentes de CWSs na descontaminação das águas do rio foi analisada. A primeira composta por um sistema combinado de canais de aguapés (*Eichornia crassipes*) seguido por solos filtrantes cultivados com arroz (*Oriza sativa*) e a segunda composta por uma sequência de dois solos filtrantes com arroz (*Oriza sativa*). Os resultados obtidos mostraram uma melhora substancial na qualidade da água após passar pelos sistemas. A eficiência de ambos os sistemas foi igual e pode ser observada (Tabela 8).

Tabela 8. Eficiência dos parâmetros no tratamento das águas do rio Piracicaba.

Parâmetro	Eficiência (%)
Cor	90
Turbidez	95
DBO ₅	70
DQO	70
Nitrogênio Total	60
Fósforo Total	65
Nitrato	95
Coliformes Totais	99
<i>Escherichia coli</i>	99

Fonte: Manfrinato, E (1989).

Análises de eficiência realizadas na ETE Piracicamirim, que utiliza tratamento convencional de efluentes, mostraram que para alguns parâmetros como DBO_5 (74,5%), a diferença de eficiência é pequena se comparada aos tratatos com CWSs (65-70%). Parâmetros como nitrogênio total e amônia, respectivamente 17,5 e 14,1% de eficiência na ETE obtiveram índices muito melhores de eficiência quando tratados com wetlands, obtendo 60% para o primeiro e 63% para o segundo.

6 CONCLUSÕES

- Devido aos problemas ocorridos com o funcionamento dos protótipos localizados na Estação de Tratamento de Esgoto Piracicamirim e ao próprio funcionamento da estação, que passa por reformas, não se pode concluir nada a respeito dos resultados e da eficiência dos protótipos no tratamento do efluente.

- A análise de outros Sistemas de Áreas Alagadas Construídas (CWSs) mostrou bastante eficiência na remoção de parâmetros como: DBO₅, DQO, nitrito, nitrato, amônia, nitrogênio, fósforo, *Escherichia coli* e coliformes totais e também de parâmetros físicos como turbidez e cor.

- A comparação do custo benefício de Sistemas de Áreas Alagadas Construídas (CWSs) com sistemas convencionais de tratamento de efluentes mostrou-se vantajosa. Além do custo reduzido, cerca de 50 a 90% menor que sistemas convencionais, a biomassa (macrófitas filtrantes) são periodicamente colhidas e destinadas para alimentação animal ou levadas para composteira juntamente ao lodo que se acumula nos tanques, favorecendo a reciclagem natural do meio.

7 RECOMENDAÇÕES

Diante das dificuldades e dos resultados obtidos são propostas as seguintes recomendações:

- A realização de novos estudos a fim de se verificar eficiência da utilização dos Sistemas de Áreas Alagadas (CWSs) no tratamento de diferentes tipos de efluentes seria de grande interesse para determinar quais as melhores configurações para cada efluente característico.

- A utilização dos Sistemas de Áreas Alagadas (CWSs) para tratamentos em grande escala ainda é pouco estudado, por conta disso, a realização de experimentos em escala piloto se torna um modo viável para se determinar a eficiência dos mesmos.

- A configuração ascendente com inoculação apesar de não ter sua eficiência analisada, mostrou resultados preliminares satisfatórios. É recomendável a realização de novos estudos com o mesmo tipo de configuração a fim de se verificar sua eficiência.

8 REFERÊNCIAS

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 ed. Washington: American Public Health Association, AWWA, WPCF, 1998. 1569 p.

ARAÚJO, R. O esgoto sanitário. In: **Esgoto sanitário – coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. 1ª Edição. 520p. Coordenação de Ariovaldo Nuvolari. Pp. 15 – 36. Editora Edgar Blücher LTDA. São Paulo. 2003.

BITAR, A.L. **Utilização de protótipos para simulação de sistema construído de áreas alagadas (constructed wetland) para tratamento de efluentes de pesque-pague**. 2006. 125 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

BORGES, A.K.P. **Despoluição de águas superficiais e efluentes de piscicultura através de sistemas construídos de áreas alagadas (Constructed Wetland)**. 2005. 140 f. Tese (Doutorado em Microbiologia Aplicada). Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

BORGES, K.P. **Eficiência de um sistema de áreas alagadas (Constructed Wetland), para tratamento de águas residuárias**. 2001. 112 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Aplicada), Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I; CONEJO, J.G.L., MIERZWA, J.C.; BARROS, M.T.L. de; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução a Engenharia Ambiental – O Desafio do Desenvolvimento Sustentável**. 2.ed., Pearson Prentice Hall, São Paulo, p.119, 2006

BRASIL. **Resolução CONAMA n° 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/> Acesso em: 10 fev. 2009.

CHAGAS, T.W.G. **Sistemas construídos de áreas alagadas: levantamento bibliográfico sobre legislação e padrões de qualidade da água**. 2008. 102 f. Monografia (Especialista em Sustentabilidade Ambiental), Centro de Estudos Ambientais, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores Anaeróbios**. 2.ed., DESA-UFMG, Minas Gerais, p.19, 2007

COLLETTI, M.P.B. **Sistemas construídos de áreas alagadas: levantamento bibliográfico sobre eficiência de redução das variáveis químicas e físicas da água**. 2008. 76 f. Monografia (Especialista em Sustentabilidade Ambiental), Centro de Estudos Ambientais, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1998. 267p.

CUNHA, C.A.G. **Análise da eficiência de um sistema combinado de alagados construídos na melhoria da qualidade das águas**. 2006. 174 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

GIORDANO, G. **Análise e formulação de processos para tratamento dos chorumes gerados em aterros de resíduos sólidos urbanos**. Tese de Doutorado (Engenharia Metalúrgica e de Materiais), PUC – Rio, Rio de Janeiro – RJ, 2003.

GOLTERMAN, H.L.; CLYMO, R.S.; OHNSTAND, M.A. **Methods for physical and chemical analysis of fresh waters**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1978. 213 p. (IPB Hand Book, n.8).

HAMMER, D.A. **Constructed wetlands for wastewater treatment: municipal, industrial and agricultural**. Chelsea: Lewis, 1989. 350p.

HAMMER, D.A.; BASTIAN, R.K. **Wetlands Ecosystems: Natural Water Purifiers?** Michigan: Lewis Publishers, INC. Cap. 2, p. 5-19, 1989

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Síntese de Indicadores Sociais 2002**. Disponível em:
http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/indicadoresminimos/sinte_seindicisociais2003/default.shtm . Acesso em 19 out. 2009

KADLEC, R.H.; KNIGHT, R.L. **Treatment wetlands**. Boca Raton: Lewis Publishers, 893 f. 1996.

KOGA, M.S. **Sistemas construídos de áreas alagadas: diferentes designs projetados em nível nacional. 2008**. 60 f. Monografia (Especialista em Sustentabilidade Ambiental), Centro de Estudos Ambientais, Universidade Estadual Paulista , Rio Claro, 2008.

KOROLEF, F. Determination of nutrients. In: GRASSHOFF, K. (Ed). **Methods of seawater analysis**. Verlag: Chemie Weinheim, p. 171-181. 1976.

LEPARGNEUR, H. **A água: qualidade de vida. O desafio do século. O mundo da Saúde**. São Paulo, v.28, n.4, p.364-372, 2004.

LAUTENSCHLAGER, S.R. **Modelagem do Desempenho de Wetlands Construídas**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 90p. 2001.

MACKERETH, F.J.H.; HERON, J.; TALLING, J.F. **Water analysis: some revised methods for limnologists**. London: Freshwater Biological Association, 1978. 121 p. (Scientific Publication, n. 36).

MANFRINATO, S.E. **Avaliação do método Edafo-fitodepuração para tratamento preliminar de águas**. Piracicaba, 1989. 98p. Tese de Mestrado Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP. Piracicaba-SP

MONTEIRO, R.C.M. **Protótipos para sistemas construídos de áreas alagadas para tratamento de efluente de piscicultura – redução de bactérias e nutrientes.** 2005. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ecologia) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

NOGUEIRA, S.F. **Balço de nutrientes e avaliação de parâmetros biogeoquímicos em áreas alagadas construídas para o tratamento de esgoto.** 2003. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – área de concentração: Energia Nuclear na Agricultura), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, CENA/USP, Piracicaba, 2003.

PASSIG, F.H.; VILLELA, L.C.H.; FERREIRA, O.P. **ETE – Piracicamirim – Nova concepção de sistema de tratamento de esgotos sanitários – Partida, Operação e Monitoramento de Desempenho.** 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (1999). Rio de Janeiro, p.567-574, 1999.

REBOUÇAS, A.C; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** São Paulo: Escrituras, p.1-36, 1999.

RIGO, E. **Aplicação de lípases como auxiliar no pré-tratamento de efluentes de frigoríficos de suínos e bovinos.** 84p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, Erechim - RS, 2004.

SAKADEVAN, K.; BAVOR, H.J. Nutrient removal mechanisms in constructed wetlands and sustainable water management. **Water Science and Technology**, Richmond, v.40, n.2, p.121-128, 1999.

SALATI, E. **Utilização de Sistemas de Wetlands Construídas para Tratamento de Águas.** Relatório técnico para Programa de Pós Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da EESC. São Carlos. 2000. 36p

SALATI FILHO, E. Avaliação da Eficiência do Sistema de Wetlands Construídos na Estação Piloto de Tratamento Terciário de Esgoto Doméstico no município de Porangaba – SP, 2000.

SÃO PAULO. **Decreto** nº 8.468, de 08 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. **Diário Oficial do Estado de São Paulo.** São Paulo. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/> Acesso em: 10 fev. 2009.

SCHULZ C.; GELBRECHT J.; RENNERT B. Treatment of rainbow trout farms effluents in constructed wetland with emergent plants and subsurface horizontal water flow. **Aquaculture: An International Journal Devoted To Fundamental Aquatic Food Resources**, Amsterdam, v.217, p.207-221, 2003.

SHUTES, R.B.E. Artificial wetlands and water quality improvement. **Environment International**, London, n.26, p.441-447, 2001.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto.** Disponível em <http://www.snis.gov.br/> Acesso em: 19 out. 2009.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. v.1 Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3.ed., DESA-UFMG, Minas Gerais, p.84-127, 2005.

WALLACE, S. **Putting wetlands to work.** New York: American Society of Civil Engineers, 190 f., 1998.

ZACARKIM, C.E.; GOMES, S.D.; QUINÕES, F.R.E; PALÁCIO, S.M.; WELTER, R.A. Avaliação de sistema wetland construído no pós-tratamento de efluente de curtume. 24 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006.