

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
JULIANO GUIMARÃES ASSUMPÇÃO

**DESEMPENHO DO LEITO CULTIVADO NO TRATAMENTO
DE EFLUENTES GERADO EM UMA INSTITUIÇÃO DE
ENSINO**

TAUBATÉ - SP

2010

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
JULIANO GUIMARÃES ASSUMPÇÃO

**DESEMPENHO DO LEITO CULTIVADO NO TRATAMENTO
DE EFLUENTES GERADO EM UMA INSTITUIÇÃO DE
ENSINO**

Dissertação apresentada para
obtenção do Título de Mestre pelo
curso de Ciências Ambientais do
Departamento de Ciências
Agrárias da Universidade de
Taubaté

Orientadora: Profa. Dra. Mariko
Ueno

TAUBATÉ - SP

2010

**Ficha catalográfica elaborada pelo
SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

A851e Assumpção, Juliano Guimarães
Eficiência do leito cultivado, de uma estação de tratamento de esgotos,
em uma instituição de ensino / Juliano Guimarães Assumpção. - 2010.
79 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Taubaté, Programa de Pós-
graduação em Ciências Ambientais, 2010.
Orientação: Profa. Dra. Mariko Ueno, Instituto Básico de
Biociências.

1. Esgotos domésticos. 2. Leitos cultivados. 3. Saneamento
ambiental. 4. *Wetlands* construídos. I. Título.

JULIANO GUIMARÃES ASSUMPÇÃO

EFICIÊNCIA DO LEITO CULTIVADO, DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS, EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo Curso de Ciências Ambientais, do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté,

Área de Concentração: Ambiente Construído.

Orientadora: Prof. Dra. Mariko Ueno

Data:30/06/2010

Resultado: APROVADO

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Mariko Ueno

Universidade de Taubaté

Prof. Dr. Paulo Fortes Neto

Universidade de Taubaté

Profa. Dra. Elisangela Cândido de Jesus

Universidade de São Paulo

Dedico esse trabalho à Juracy Pissurno Assumpção, minha eterna incentivadora e amiga, um ser humano fantástico.

As minhas filhas Letícia e Clara, minha esposa Sara, meus pais Egmar e Sônia e meus avós Pedro e Juracy pelo amor e apoio incondicional

AGRADECIMENTOS

Ao Criador, por sempre iluminar meus caminhos.

Aos meus pais, que em todos os momentos da minha vida atuaram como meus sólidos pilares, contribuindo para minha formação moral e acadêmica através de gestos e incentivos diários.

À minhas filhas, por me mostrarem o real significado do amor puro e simples.

À minha esposa, mulher guerreira e companheira, que apóia e incentiva meus sonhos por mais loucos que eles pareçam.

À minha irmã, uma pessoa com um coração do tamanho do mundo, por sempre me incentivar com gestos e palavras.

A toda minha amada família Guimarães Assumpção, esta que sempre foi numerosa e barulhenta, mas acima de tudo unida. Sou grato pelos momentos bons e inesquecíveis que passamos juntos, parte de minha formação humana devo a cada um de vocês.

Aos meus sogros, que literalmente me vêem como filho, incentivadores constantes de meus estudos.

À Prof. Dra. Mariko Ueno pela amizade e valiosa orientação, fundamental para o desenvolvimento deste estudo.

Ao Prof. Dr. Paulo Fortes Neto pelo apoio em momentos importantes no trilhar desta jornada.

Ao Prof. Dr. Jorge Pasin de Oliveira pelo auxílio intelectual e por disponibilizar toda a infra-estrutura laboratorial do CEAVAP para realização das análises físico-química e microbiológicas.

À Prof. Dra. Elisangela de Jesus Cândido Moraes pela amizade e ensinamentos na realização da etapa laboratorial.

À Prof. MSc. Amanda Maria Bicudo de Souza pela tradução do resumo para a língua inglesa.

À estagiária Simone Máximo pela dedicação e ajuda na execução das análises microbiológicas.

Ao funcionário Domício Sebastião da Silva pela realização dos trabalhos de limpeza e manutenção do leito estudado.

À toda turma XVI pela amizade em todos os momentos em que estivemos juntos.

EPÍGRAFE

“... a vitória de um homem às vezes se esconde
num gesto forte que só ele pode ver...
sou guerreiro, trabalhador e todo dia, vou encarar
com fé em Deus e na minha batalha...”

Lado B Lado A (O Rappa)

Desempenho do leito cultivado no tratamento do efluente gerado em uma instituição de ensino

Autor: Juliano Guimarães Assumpção
Orientadora: Prof^a. Dra^a. Mariko Ueno

Resumo: A utilização de métodos naturais, do tipo leitos cultivados, para a redução de poluentes tem mostrado resultados satisfatórios que o tornam viáveis para diversos segmentos da sociedade. Instituições de ensino possuem calendários acadêmicos que incluem longos períodos de recesso que leva o fluxo de esgoto nos sistemas praticamente a zero causando graves danos tanto para as colônias de micro-organismos as macrófitas 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 se o mesmo apresentava sinais de recuperação sem qualquer intervenção e em seguida com uma manutenção. Para avaliar a eficiência do tanque de leito cultivado a metodologia adotada baseou-se nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos de análise da água em um sistema de fluxo subsuperficial. A eficiência de remoção para os parâmetros de turbidez, NH₃, NO₃⁻ e Fósforo foram respectivamente de 63%, 21,69%, 31,05% e 20,27%, para DBO, DQO e coliformes termotolerante os respectivos valores da eficiência média foram de 45,99%, 29,72% e 44,01%. Se for considerado apenas o período pós-intervenção os resultados melhoram, sendo os seguintes: turbidez=78,17%, NH₃=37,95%, NO₃⁻=53,18%, Fósforo=25,56%, DBO=66,15%, DQO=36,50% e coliformes termotolerantes=60,72%. Os resultados demonstram a importância da vegetação na qualidade da eficiência desse tipo de sistema.

Palavras chave: wetlands construídos, esgotos domésticos, saneamento ambiental, leitos cultivados.

Eficiência do leito cultivado, de uma estação de tratamento de esgotos, em uma instituição de ensino

Author: Juliano Guimarães Assumpção
Adviser: Prof^a. Dra^a. Mariko Ueno

Abstract: The utilization of natural methods to reduce pollutants, like wetland, has shown satisfactory results which make it viable for different segments of society. Educational institutions have academic calendars that include long periods of recess which takes the flow of sewage systems practically zero causing serious damage both for microorganisms as for the associated macrophytes. The present study had as its goal to evaluate the wetland system efficiency, after the recess period of an educational institution, checking if it showed signs of recovery without any intervention, and then with a maintenance. In order to evaluate the efficiency of the wetland pool the adopted methodology was based on physico-chemical and microbiological parameters of water analysis in a subsurface flow system. The removal efficiency for the parameters of turbidity, NH_3 , NO_3^- and phosphorus were respectively 63%, 21.69%, 31.05% and 20.27%, for DBO, DQO and thermotolerant coliforms the several values of average efficiency were 45.99%, 29.72% and 44.01%. If it was considered only the period after intervention, the results get better, being the following: turbidity=78,17%, NH_3 =37,95%, NO_3^- =53,18%, phosphorus=25.56%, DBO=66.15%, DQO=36.50% and thermotolerant coliforms=60.72%. The results show the importance of vegetation on the quality of efficiency of this kind of system.

Key words: wetlands, constructed wetlands, domestic sewage, environmental sanitation.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO: Demanda Química de Oxigênio
ETE: Estação de Tratamento de Esgotos
EUA: Estados Unidos da América
FAn1: Filtro Anaeróbio de Fluxo Descendente
FAn2: Filtro Anaeróbio de Fluxo Ascendente
FUNASA: Fundação Nacional de Saúde
IWA: International Water Association
N-NH₄: Nitrogênio Amoniacal
NMP: Número Mais Provável
NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl
OPAS: Organização Pan-Americana de Saúde
pH: Potencial Hidrogeniônico
Qa: Vazão entrada
Qe: Vazão de saída
RAFA: Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
RZM: Root Zone Method
SS: Sólidos Sedimentáveis
SST: Sólidos Suspensos Totais
SSV: Sólidos Suspensos Voláteis
ST: Sólidos Totais
TRH: Tempo de Retenção Hidráulica
TS: Tanque Séptico
USEPA: United States Environmental Protection Agency
UNESP: Universidade Estadual Paulista
UNICAMP: Universidade de Campinas
UNITAU: Universidade de Taubaté
LCFS: Leito Cultivado de Fluxo Superficial
LCFSS: Leito Cultivado de Fluxo Subsuperficial

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Processo de aplicação de águas residuárias pelo sistema de infiltração lenta no solo	29
Figura 2:	Processo de aplicação de águas residuárias pelo sistema de infiltração rápida no solo e métodos de recuperação de água tratada	30
Figura 3:	Representação de um sistema por escoamento superficial	34
Figura 4:	Leitos Cultivados de fluxo superficial, subsuperficial e vertical	40
Figura 5:	Ilustração do funcionamento de um leito cultivado	41
Figura 6:	Esquema da seqüência de tratamento / filtração	44
Figura 7:	Filtros anaeróbios	45
Figura 8:	Vista lateral do tanque	55
Figura 9:	Vista de um exemplar de <i>Typha sp.</i>	55
Figura 10:	Vista lateral do leito logo após manutenção	56
Figura 11:	Vista lateral do leito cerca de 30 dias após manutenção	57
Figura 12:	Variação da temperatura e eficiência durante período de estudo	57
Figura 13:	Valores de turbidez e eficiência amostrada durante período de estudo	58
Figura 14:	Valores de pH e eficiência amostrada durante período de estudo	60
Figura 15:	Valores de N-amoniaco e eficiência amostrada durante o período de estudo	61
Figura 16:	Valores de N-nitrato e eficiência amostrada durante o período de estudo	62
Figura 17:	Valores de Ptotal e eficiência amostrada durante período de estudo	64
Figura 18:	Valores de DBO e eficiência amostrada durante período de estudo	66
Figura 19:	Valores de DQO e eficiência amostrada durante período de estudo	66
Figura 20:	Valores de Coliformes termotolerante e eficiência amostrada durante período de estudo	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Índice de DBO prevista	47
Tabela 2	Valores de vazão afluente monitorado no sistema de LC	50
Tabela 3	Valores de vazão efluente monitorado no sistema de LC	51
Tabela 4	Eficiência para DBO e DQO antes e depois do plantio	65
Tabela 5	Eficiência do Leito Cultivado	69

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVO GERAL	15
3.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4.	REVISÃO DE LITERATURA	16
4.1.	Sociedade X Recursos Hídricos	16
4.2.	Atual Realidade Brasileira	18
4.3.	Formas de Tratamento	20
4.3.1.	Processos Físicos	20
4.3.2.	Processos Químicos	20
4.3.3.	Processos Biológicos	21
4.4.	Sistemas Naturais	25
4.4.1.	Sistemas Solo-Planta	26
4.4.1.1.	Sistemas de Infiltração Lenta	27
4.4.1.2.	Sistemas de Infiltração rápida	29
4.4.1.3.	Sistemas de Infiltração Subsuperficial	31
4.4.1.4.	Sistemas de Escoamento Superficial	31
4.5.	Leitos Cultivados	32
4.6.	Tipos de Leitos Cultivados	36
4.7.	Pesquisas anteriores	39
5.	MATERIAL E MÉTODOS	42
5.1.	Localização da área de Estudo	42
5.2.	Descrição do sistema de tratamento, pontos de coleta e período de estudo	42
5.3.	Metodologia de Análise dos Resultados do Tratamento de Efluente no Sistema Proposto	45
5.3.1.	Método das Análises Físico-Químicas e Microbiológica	45
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
6.1.	Estimativa do volume, vazão e TRH do sistema	50
6.1.1.	Volume útil do sistema de Leito Cultivado	50
6.1.2.	Vazões Afluente e Efluente	50
6.1.3.	Calculo do Tempo de Retenção Hidráulica	51
6.2.	Estado do leito cultivado durante o período de estudo	52
6.3.	Parâmetros Físicos	55
6.3.1.	Temperatura	55
6.3.2.	Turbidez	56
6.4.	Parâmetros Químicos	58
6.4.1.	Potencial Hidrogeniônico (pH)	58
6.4.2.	Nitrogênio Amoniacal e Nitrato	59
6.4.3.	Fósforo Total	62
6.4.4.	Demandas Bioquímica e Química de Oxigênio	64
6.5.	Coliformes Termotolerante	66
6.6.	Comparativo da eficiência entre os períodos pré e pós-plantio	68
7.	CONCLUSÕES	70
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72

1. INTRODUÇÃO

A questão da conservação dos recursos hídricos tem se tornado mais importante a cada dia. Vivemos em um planeta que tem abundância desse recurso, porém desse total 97% não é adequada para o consumo devido à sua salinidade, dos 3% restantes temos mais de três quartos retidos nas calotas polares, restando apenas 3% para o consumo humano.

A postura consumista de nossa sociedade atual só tem contribuído para o agravamento da escassez deste elemento tão básico e milhares de pessoas em todo mundo já vivem no limite da ausência de água, principalmente nas regiões mais áridas.

Por serem locais de concentração de pessoas, as instituições de ensino são geradores de grandes quantidades de esgoto doméstico, considerando poucas exceções pode-se dizer que quase em sua totalidade essas instituições utilizam-se dos sistemas públicos de abastecimento para o fornecimento de água e lançamento do efluente “in natura” nos corpos d’água comprometendo a qualidade destes recursos.

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 relativo baixo custo de instalação e manutenção simples.

Bastian et al. (1993) demonstram em seus trabalhos um considerável aumento na pesquisa e utilização de leitos cultivados, isso se dá 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.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliação da eficiência de um leito cultivado após período de aproximadamente dois meses parado, tal tanque integra o sistema de tratamento de efluentes para o esgoto gerado pelo prédio central do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté – UNITAU.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar volume, vazão e tempo de retenção hidráulica do sistema;
- Identificar o desenvolvimento das macrófitas no sistema no período estudado;
- Monitoramento e verificação da eficiência na remoção de matéria orgânica pelo sistema;
- Monitoramento e verificação da eficiência na remoção de nitrogênio e fósforo pelo sistema;
- Verificação da eficiência na remoção de Coliformes termotolerante pelo sistema;
- Análise de Temperatura, pH e turbidez.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. – Sociedade X Recursos Hídricos

A água representa um recurso fundamental para o desenvolvimento e manutenção da vida, historicamente as sociedades sempre se desenvolveram no entorno de corpos d'água.

O ciclo hidrológico mantém em nosso planeta um volume praticamente constante de água doce, segundo Thame (2001) a quantidade de água atual é a mesma de 1950 e, provavelmente, será a mesma em 2050.

Hespanhol (2001) afirmou que através do ciclo hidrológico a água se constitui como um recurso renovável. Quando reciclada através de sistemas naturais, é um recurso limpo e seguro que é, através da atividade antrópica, deteriorada em níveis diferentes de poluição.

O crescimento populacional desordenado associado às ações antrópicas sem planejamento tem resultado a cada dia mais na falta desse recurso para um número maior de pessoas. Em muitas regiões do globo, a população ultrapassou o ponto em que podia ser abastecida pelos recursos hídricos locais disponíveis. Atualmente existem 26 países que abrigam 262 milhões de pessoas que se enquadram na categoria de escassez de água (POSTEL 2003, apud MANCUSO, 2003).

A idéia do lançamento desordenado dos despejos industriais ou ainda da diluição destes para posterior lançamento no meio ambiente, aliada à falta de conhecimento específico de gerenciamento e tratamento dos efluentes, relaxava a atenção ambiental à quase total despreocupação com relação aos recursos naturais, ao homem, fauna e flora (OENNING, 2007)

O assoreamento de rios e lagos, o descaso com os mananciais, o desmatamento e as práticas agrícolas inadequadas são alguns dos principais fatores

que conduziram diversos países a atual situação de escassez no abastecimento de água, conjuntamente ou de forma isolada esses fatores diminuíram a oferta nominal de água, além disso, a contaminação dos corpos d'água pelo lançamento de efluentes urbanos, industriais e agrícolas sem tratamento tem comprometido ainda mais a pequena quantidade que resta para uso humano.

A escassez de água não é um atributo apenas das regiões áridas e semi-áridas onde existe pouca água de superfície e baixo índice de precipitação pluviométrica. Regiões, que embora disponham de recursos hídricos significativos, mas insuficientes para atender a demandas excessivamente elevadas, também experimentam conflitos de usos e sofrem restrições de consumo que afetam as atividades econômicas e influem negativamente na qualidade de vida de suas populações (HESPANHOL, 1997).

No Oriente Médio, diversos países apresentam um panorama de extrema escassez de água doce, o baixo índice de precipitação média anual resulta em uma baixa vazão aos poucos rios existentes, nessas regiões o processo de dessalinização é amplamente utilizado para manter a agricultura desses países e ainda é necessário importar mais de 50% da demanda de alimentos.

A região árabe, com uma população de cerca de 5% da população do mundo, recebe apenas menos de 1% da oferta mundial de recursos hídricos renováveis, devido à sua localização geográfica em regiões áridas ou semi-áridas do mundo (HAMODA, 2004).

A extração excessiva de água dos aquíferos subterrâneos nessa região tem permitido a invasão de águas marinhas, comprometendo a qualidade da água do subsolo.

No Japão a tendência à escassez se mostra da mesma forma, segundo Asano (1996), embora o país apresente uma precipitação média anual de 1714 mm e centenas de represas e reservatórios construídos, freqüentes e severas secas têm ocorrido em elevadas escala, comprometendo a disponibilidade hídrica.

Na Austrália, em muitas áreas, as tendências no consumo de água são insustentáveis e a gestão adaptativa da água torna-se a cada dia mais necessárias para sustentar o crescimento econômico (THOMAS et al., 1999).

Reafirmando o atual panorama mundial Yang (2001) considerou que a projeção da demanda de água na região indica um agravamento contínuo do déficit hídrico nos próximos anos, destacando a escassez da água e esgotamento dos recursos na Planície do Norte da China.

4.2. – A Atual Realidade Brasileira

No Brasil a demanda atual é inferior à atual oferta deste recurso, porém isso não coloca o país em uma posição privilegiada, pois é na região amazônica, onde apenas 5% da população brasileira vive que estão localizadas 80% dos recursos, restando para os outros 95% da população os 20% dos recursos hídricos.

A cada dia a consciência de que a água torna-se cada vez mais escassa devido às inúmeras ações antrópicas e os problemas causados pela falta desse importante recurso tem preocupado todos os segmentos da sociedade (PHILIPPI, 2003).

Não é de hoje que a água é mencionada nas leis brasileiras, porém somente na constituição de 1988 passou a ser considerada um recurso finito e recebeu uma atenção especial, vale ressaltar que uma importante alteração de conceito foi a definição desse recurso como de domínio público, extinguindo o conceito de domínio

privado adotado no Código das Águas, a importância dessa alteração é que a água passou a ter um caráter social.

A constituição de 1988 foi o marco de outras profundas mudanças no domínio hídrico anterior, nada se alterou no que se diz respeito aos domínios da União, por outro lado incluiu-se para os Estados o domínio de águas superficiais e subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, excetuando-se as decorrentes de obras da União.

O Código Florestal que foi alterado em 1989 e proporcionou maior proteção aos corpos d'água, buscando preservar desta forma a flora das propriedades rurais e urbanas (FINK; SANTOS 2002).

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, responsável pela criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, que criou a Agência Nacional de Águas (ANA), entidade federal responsável pela implementação da política e coordenação do Sistema, foram criadas para proporcionar um maior controle legal sobre as disposições legais dos recursos hídricos.

A resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 20, de 18/06/86, dividiu as águas do território nacional em águas doces (salinidade < 0,05%), salobras (salinidade entre 0,05% e 3%) e salinas (salinidade > 3%). Em função do uso previsto, foram criadas nove classes. As classes relativas às águas doce são as Classes especial, 1, 2, 3, e 4. A Classe especial é para águas com usos mais nobres e a Classe 4 para os usos menos nobres. As Classes 5 e 6 são para as águas salinas e as Classes 7 e 8 para as águas salobras.

4.3. – Formas de Tratamento

Ao longo do tempo, diversas tem sido as tecnologias desenvolvidas para criação de sistemas de tratamento de efluentes que promovam a recuperação e manutenção da integridade física, química e biológica das águas. Segundo Haandel; Lettinga (1994), “O objetivo principal do tratamento de esgoto é corrigir as características indesejáveis, de tal maneira que o seu uso ou a sua disposição final possa ocorrer de acordo com as regras e critérios definidos pelas autoridades legislativas.”

Dentre os poluentes podemos citar como principais constituintes dos esgotos: sólidos, nutrientes, material orgânico e microorganismos patogênicos.

Quanto aos tipos de tratamentos Asano (2004) os dividiu da seguinte forma:

4.3.1. Processos Físicos

Por terem sido originados da observação da natureza, os processos de tratamento físicos foram os primeiros a serem usados no tratamento das águas residuais. Esses processos caracterizam-se pela remoção de substâncias que se separam fisicamente dos líquidos e tem a função de separar as substâncias em suspensão no esgoto.

4.3.2. Processos Químicos

São processos nos quais a eliminação dos contaminantes é provocada pela adição de produtos químicos e pelas reações químicas causadas. Geralmente não

são adotados isoladamente e são empregados quando os processos físicos ou biológicos não são eficientes na remoção de substâncias indesejáveis presentes no esgoto.

4.3.3. Processos Biológicos

São métodos de tratamento nos quais a remoção de contaminantes ocorre por meio de processos biológicos. É utilizado essencialmente para eliminar substâncias orgânicas biodegradáveis contidas nos esgotos, as quais se tornam fonte de alimento para os microrganismos. Podem também, em muitos casos, eliminar nutrientes, como nitrogênio e fósforo, além de patógenos.

Dentro desses três tipos acima citados os mesmos ramificam-se em variadas formas de tratamento, sendo que todos os processos podem ser considerados atualmente como amplamente utilizados em escala mundial, a opção por determinada tecnologia se dá por fatores como o tipo de efluente gerado, qualidade desejada do efluente final tratado e a quantidade de recursos disponíveis para montagem e manutenção da ETE (HESPANHOL, 1997).

Segundo Boller (1997) em se tratando de estações de tratamento de esgoto de pequeno porte, características como simplicidade, confiabilidade e economia são fundamentais ao processo de escolha pela tecnologia de tratamento.

Pequenas estações podem considerar-se em vantagem sobre as grandes quando se pensa em opções para tratamento, sistemas como simples tanques sépticos até os mais avançados sistemas para a remoção de nutriente.

Dentre os processos que se utilizam de tratamentos químicos vários trabalhos relatam sua eficiência, Hussein et al. (2006) demonstrou seus estudos realizados na

Malásia a alta eficiência de processos físico-químicos com aplicação de calcário e carvão ativado para a remoção de nitrogênio amoniacal.

Em um estudo realizado na cidade de San Diego (EUA), Stackelberg et al. (2007) analisaram a eficácia de diferentes tratamentos com adição de químicos, que combinados apresentaram relativa eficácia na remoção de produtos farmacêuticos.

Outros processos eficientes também não podem deixar de ser citados, atualmente quando se pensa no “estado da arte” em tratamento de efluentes pode-se citar o que de melhor existe no mercado no contexto tecnológico, tais como oxidação com ozônio, dióxido de cloro e peróxido de hidrogênio, microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração, osmose reversa, eletrólise reversa, destilação e precipitação química e troca iônica (OENNING, 2007).

Os custos relativos à aquisição e manutenção dessas tecnologias avançadas tornam-se, em geral, um enorme empecilho para instituições e comunidades de pequeno porte que desejem tratar suas águas residuárias, além disso, a qualidade necessária do efluente final para descarte em corpos hídricos nem sempre justifica este elevado investimento, sendo nesse ponto que os filtros biológicos tornam-se interessantes, por apresentarem custos infinitamente mais baixos e resultados satisfatórios.

O tratamento por processo biológico visa replicar o que ocorre naturalmente quando o esgoto é lançado em corpos d’água, ou seja, o processo de autodepuração, que nada mais é do que a ação degradadora dos microorganismos sobre a matéria orgânica que resultam em substâncias inertes e que podem permanecer na água.

A evolução da tecnologia de tratamento de esgoto em ambiente confinado e controlado iniciou-se a partir da verificação de que as lagoas poderiam ser utilizadas como sistema de tratamento e também com a criação, em 1860, da fossa séptica. Pesquisas registram que esse tipo de tratamento foi desenvolvido por Jean Louis Mouras em Veoul, França (ANDRADE NETO; CAMPOS, 1999).

No final do século dezenove, os processos físico-químicos eram os mais empregados, mas não ofereciam a eficiência desejada. O processo de tratamento biológico estava apenas começando, restringindo-se ao uso de filtros intermitentes, filtros biológicos, leitos percoladores e tanques sépticos. Desta maneira, foi com grande entusiasmo que os pesquisadores receberam a notícia do surgimento de um novo processo de tratamento, chamado de lodos ativados, o qual seria capaz de produzir efluentes de alta qualidade (BUSATO, 2004).

Atualmente é sabido que ambos os processos biológicos, anaeróbios e aeróbios, podem ser utilizados em separado ou de forma conjunta para tratamento do esgoto sanitário. De maneira geral o tratamento aeróbico resulta em um volume maior de lodo que o anaeróbio, já o segundo possui uma maior produção de biogás. O mais adequado é avaliar os aspectos positivos e negativos da utilização de cada processo, para cada caso, de maneira a encontrar a solução mais adequada.

Outro ponto importante a ser considerado em um projeto de montagem de uma ETE é a associação de filtros biológicos com os de retenção física para aperfeiçoar a eficácia alcançada.

Segundo Tonetti (2005) a associação de reator anaeróbico com filtros de areia é uma alternativa que preserva o baixo custo e as mínimas necessidades de operação e manutenção.

Nunes (1998) constatou em seus estudos realizados na cidade de Porto, Portugal, que se utilizando de um filtro biológico em conjunto com um filtro de areia com fluxo ascendente, apesar de a eficiência ser fortemente influenciada pelo tempo de retenção hidráulica e a razão C:N, os valores de desnitrificação alcançados foram de até 100%.

Aslam (2007) reafirmou em seu estudo que os filtros de areia podem ser uma excelente escolha, principalmente no processo de desnitrificação de água potável, nesse caso o trabalho foi realizado na Turquia utilizando-se de um filtro de areia lento e com fluxo descendente, os resultados apontaram após 15 dias uma eficiência próxima de 100%.

Para o tratamento de esgotos domésticos a associação de filtro biológico com outros de retenção física (areia e pedra) é indicado, segundo Bolton (1973) a primeira experiência desse processo aconteceu na Inglaterra em 1897.

Inicialmente as unidades de filtro biológico eram construídas de tanques, cheios de pedregulho, onde os esgotos eram retirados por algum tempo, estabelecendo-se um ciclo operacional de enchimento e esvaziamento. Na época, procurava-se relacionar a depuração dos esgotos retidos com a presença de microrganismos produtores de limo. A operação descontínua, a rápida colmatação dos espaços vazios, e a necessidade de ciclos operacionais, limitaram por muito tempo a capacidade de tratamento daquelas unidades (CHAGAS, 2000).

Após o desenvolvimento de filtros que possuíam um fluxo contínuo a aplicação do processo aumentou, através de dispositivos de distribuição de esgotos no meio suporte, eliminando as manobras e dispositivos do funcionamento intermitente.

Nos últimos anos verificou-se, no País, grandes avanços em pesquisa e desenvolvimento de processos e técnicas de tratamento de águas residuárias, direcionados tanto para sistemas de grande porte e de maior complexidade, quanto de pequeno porte, baixo custo e simplicidade operacional, tais como: tanques sépticos, lagoas de estabilização, reatores anaeróbios, disposição nos solos e leitos cultivados (MAZZOLA, 2003).

4.4. – Sistemas Naturais

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 desta concepção, enquadram-se as lagoas de estabilização e os leitos cultivados (constructed wetland) (SEZERINO, 2006).

Pode-se dizer também que esses sistemas visam, em suma, replicar de forma otimizada a série de processos que ocorrem naturalmente em banhados naturais, diferentemente dos sistemas biológicos tradicionais estes normalmente não necessitam de insumos químicos, equipamentos mecânicos e gastos com energia elétrica.

De acordo com Reed et al. (1995) sistemas naturais para tratamento de efluentes podem ser definidos como o conjunto de processos que dependem principalmente de componentes naturais para atingir o propósito pretendido.

Considerados como formas de tratamento não convencionais, os sistemas naturais tem como principais fatores de funcionamento a utilização da força gravitacional, ação de microrganismos e o metabolismo das plantas que, interagindo

com o solo e com a atmosfera, resultam na melhoria da qualidade de águas residuárias.

Ocorrem nestes sistemas muitos processos encontrados nos convencionais como: sedimentação, filtração, transferência de gás, adsorção, troca iônica, precipitação química, oxidação química e redução; conversão biológica e degradação, e os processos naturais como a fotossíntese, a fotoxidação e o consumo pelas plantas. Além disso, os processos ocorrem em “taxas naturais” e tendem a ocorrer simultaneamente em um reator único, ao contrário dos sistemas convencionais em que os processos ocorrem seqüencialmente em reatores separados e com taxas aceleradas (METCALFY e EDDY, 1991).

São exemplos de sistemas de tratamento naturais a aplicação no solo (infiltração, irrigação e outras variações), banhados naturais ou construídos e a aquacultura com produção de biomassa vegetal ou animal (METCALFY e EDDY, 1991)

O Brasil é um dos países que oferece excelentes condições climáticas e ambientais para a implantação deste tipo de sistema, além de apresentar uma enorme carência de tratamento de águas residuárias, especialmente nos pequenos e médios municípios (VALENTIN, 2005).

4.4.1. – Sistemas Solo-Planta

A aplicação de efluentes no solo pode ser considerada como forma de reuso, no entanto atualmente são reconhecidos como sistemas de pós-tratamento que demandam disponibilidade de áreas para implantação.

Os tipos mais comuns de aplicação no solo são:

Sistemas com base no solo:

- irrigação (infiltração lenta ou fertirrigação)
- infiltração rápida (alta taxa ou infiltração – percolação)
- infiltração subsuperficial
- escoamento superficial

Sistemas com base na água:

- Leitões cultivados (banhados artificiais)

4.4.1.1. – Sistemas de infiltração lenta (irrigação)

Os sistemas de irrigação, que utilizam esgoto pré-tratado, além da ação física dos solos e bioquímica dos microorganismos, ocorre o aproveitamento dos nutrientes pelas plantas. Grande parte do líquido é perdido para a atmosfera na forma de vapor d'água por evaporação e evapotranspiração, diminuindo o volume do efluente que é encaminhado às camadas mais profundas do solo (ZANELLA, 2008).

No processo de irrigação deve-se levar sempre em conta os níveis de nutrientes a serem dispostos no solo de acordo com as necessidades de cada cultura, deste modo esses sistemas apresentam-se sempre com lançamento intermitentes.

Características sazonais devem ser muito bem observadas para também não saturar o solo, ou seja, regiões mais áridas possibilitam a aplicação do de águas residuárias durante o ano todo, já as zonas úmidas impossibilitam a disposição dos

esgotos nos períodos chuvosos, pois a saturação pode causar condições anaeróbias e com isso surgirem problemas com odores indesejáveis e insetos.

A irrigação constitui o sistema de tratamento/disposição que requer maior área superficial por unidade de água residuária tratada. Por outro lado, é o sistema natural com maior eficiência. As plantas são grandes responsáveis pela remoção de nutrientes, como fósforo e nitrogênio dos dejetos, cabendo aos microrganismos do solo a remoção de substâncias orgânicas. Durante a percolação pelo solo, ocorre também uma elevada remoção de organismos patogênicos (von SPERLING, 2005).

O uso de águas residuárias na irrigação de espécies persistentes, perenes e produtivas durante todo o ano seria desejável. Dessa forma, algumas capineiras, de sistema radicular abundante e profundo, podem ser muito úteis também sob o ponto de vista ambiental, por serem capazes de reter grandes quantidades de macro e micronutrientes do solo, diminuindo a lixiviação para águas subterrâneas e diminuindo o carreamento via escoamento superficial (MATOS, 2003).

Chernicharo (2001) afirmou que a utilização de esgotos tratados para a irrigação pode aumentar a produtividade agrícola por unidade de área devido à presença de nutriente, além de colaborar com a preservação das águas liberando vazões de água de melhor qualidade para os usos mais exigentes como o abastecimento público.

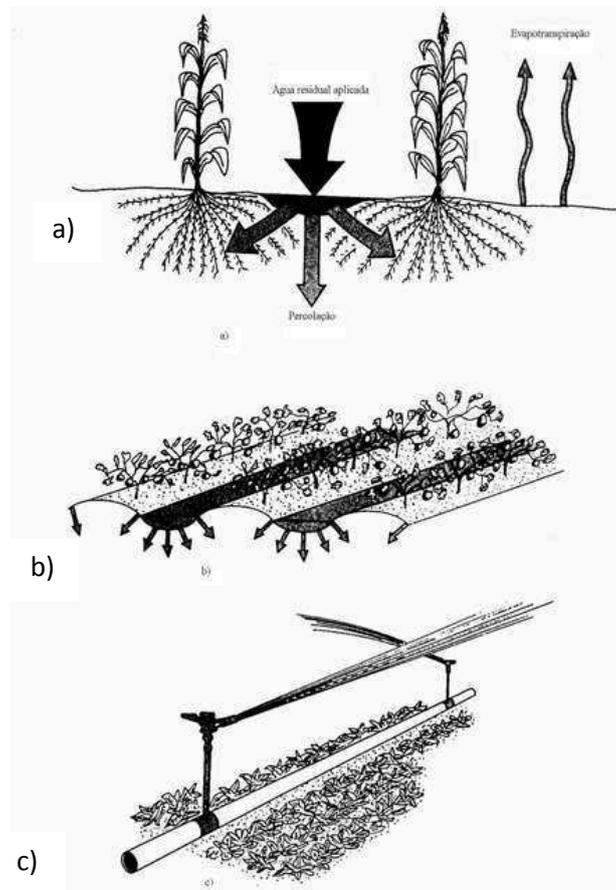


Figura 1 – Processo de aplicação de águas residuárias pelo sistema de infiltração lenta no solo: a) Escoamento hidráulico, b) Distribuição superficial e c) Distribuição por Sprinklers. Adaptado: QASIN, 1999.

4.4.1.2. – Sistemas de infiltração rápida

Sendo a forma mais antiga e mais comum nos processos de infiltração no solo, o sistema de infiltração rápida visa a utilização do solo como um filtro de retenção para águas residuárias. O sistema é caracterizado pela percolação da água residuária, a qual, purificada pela ação filtrante do meio poroso, constitui recarga para águas freáticas ou subterrâneas (MATOS, 2002).

Nos processos de infiltração deve-se levar em conta a possibilidade de perda de capacidade drenante do solo e a contaminação do lençol freático, especialmente quanto às formas de nitrogênio que podem ter elevado o grau de mobilidade do solo (ZANELLA, 2008). Para de evitar tais condições a aplicação deve ser feita de forma

intermitente, permitindo assim que o solo descanse. Nesse período, o solo seca e restabelece as condições aeróbicas (von SPERLING, 2005).

A aplicação pode ser feita por descarregar diretas (sulcos, canais, tubulações perfuradas) ou por aspersores de alta capacidade. O método de infiltração-percolação é o que requer a menor área, dentre os processos de disposição no solo. O crescimento poderá ou não ocorrer, o que não interfere na eficiência do processo, se constitui objetivo do tratamento (COURACCI FILHO et al, 1999).

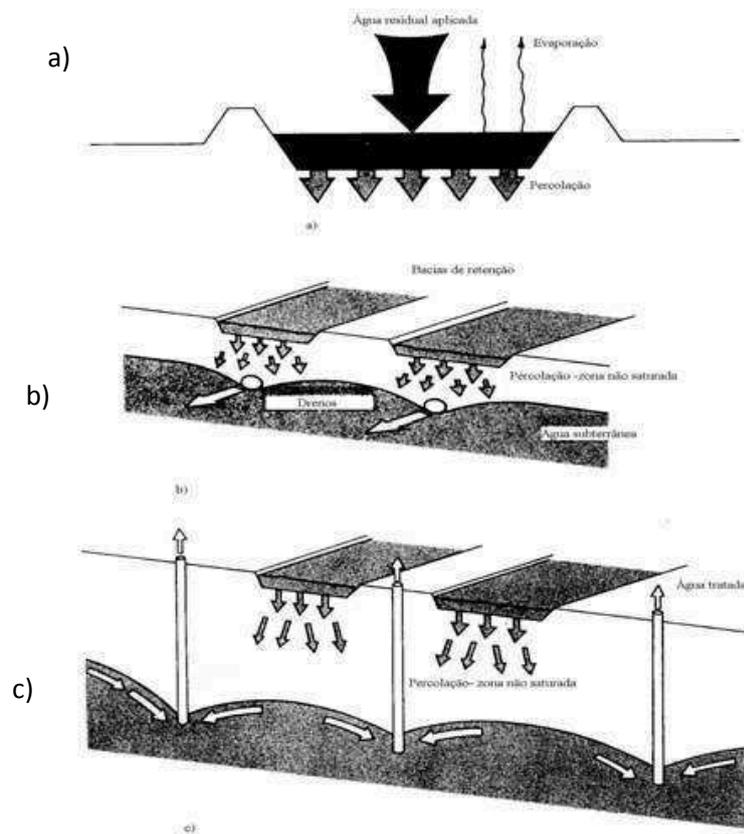


Figura 2 – Processo de aplicação de águas residuárias pelo sistema de infiltração rápida no solo e métodos de recuperação de água tratada: a) Escoamento hidráulico, b) recuperação por drenos subterrâneos e c) Recuperação por poços.

4.4.1.3. – Sistemas de infiltração subsuperficial

Nos sistemas de infiltração subsuperficial, o esgoto pré-tratado é aplicado abaixo do nível do solo. É empregada normalmente como método de polimento e disposição final, normalmente, de esgotos tratados em unidades de pequena vazão.

Os locais de infiltração são preparados por escavações enterradas, preenchidas com meio poroso. O meio de enchimento mantém a estrutura da escavação, permite o livre fluxo dos esgotos e proporciona o armazenamento dos mesmos durante vazões de pico (von SPERLING, 2005).

Trata-se de um sistema muito parecido com o de infiltração rápida, no entanto apresenta com única diferença o fato da forma de condução do fluxo hídrico acontecer subterraneamente e não por inundação superficial.

As principais configurações desse tipo de sistema utilizadas são os sumidouros e as valas de infiltração (ZANELLA, 2008). No Brasil tais configurações são regulamentadas pela NBR 13969/97 (ANBT, 1997).

4.4.1.4. – Sistemas de escoamento superficial

O sistema de escoamento superficial é normalmente constituído por uma série de rampas uniformes nas quais o esgoto é lançado controladamente por um sistema de distribuição, localizado na parte mais alta (CHERNICHARO, 2001).

Solos adequados para esse tipo de tratamento são os de baixa permeabilidade, tais como os argilosos. Além disso, deverão ser moderadamente inclinados (entre 2 e 8%) (von SERLING, 2005).

No sistema de escoamento superficial o esgoto sofre evaporação, evapotranspiração, processos de infiltração no solo e estabilização por biofilme que se desenvolve aderido ao solo e às plantas (ZANELLA, 2008).

O uso de culturas em crescimento, na área de disposição das águas residuárias, é essencial para aumentar a taxa de absorção dos nutrientes disponíveis no solo e a perda de água por transpiração. Além disso, a vegetação representa uma barreira ao livre escoamento superficial do líquido no solo, aumentando a retenção de sólidos em suspensão e evitando a erosão, e proporciona um habitat para a biota, possibilitando maior oportunidade para a ação dos microorganismos.

O tipo de vegetação utilizada também é importante pela sua capacidade de absorver o nitrogênio e o fósforo (REED et al, 1995).

A aplicação da água residuária pode ser feita por aspersão, utilizando-se aspersores de média e baixa pressão, por tubos janelados ou por sistema de bacias de distribuição por sulco (MATOS, 2002).

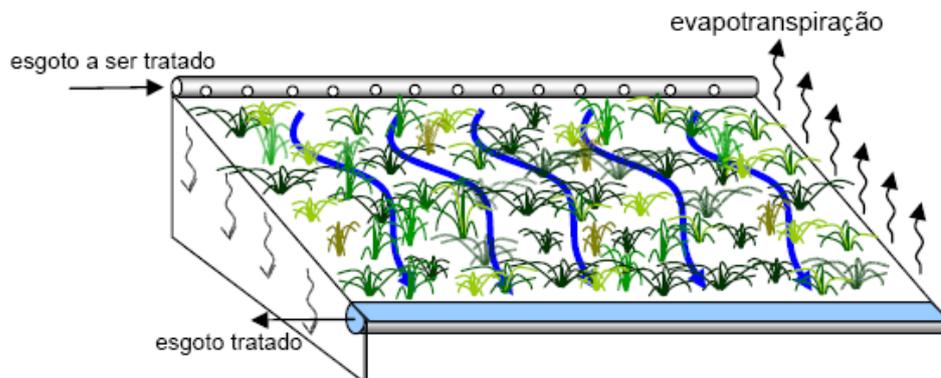


Figura 3 – Representação de um sistema por escoamento superficial.

Fonte: Zanella, 2008

4.5. – Leitões Cultivados

O termo “wetland” que na tradução literal quer dizer terras úmidas, ou seja, são terrenos que permanecem saturados de água e tem sua fauna e flora adaptadas para essas condições, Zanella (2008) definiu como áreas de transição entre os

ambientes aquático e terrestre. Os pântanos, brejos, charcos, várzea, lagos muito rasos e manguezais. Ele ainda cita como exemplos brasileiros o pantanal-matogrossense e a planície amazônica central.

Iwa, 2000; Chernicharo, 2001; Usepa, 1988 consideraram naturalmente importante como habitat diversos animais superiores, são ainda ocupados por plantas, animais invertebrados e microrganismos diversos que, conjuntamente, promovem uma melhoria considerável na qualidade da água, principalmente considerando os seguintes mecanismos:

- retenção de material particulado suspenso;
- filtração e precipitação química pelo contato da água com o substrato;
- transformações químicas;
- sorção e troca iônica na superfície das plantas, substrato/meio suporte e sedimentos;
- quebra, transformação e metabolização de poluentes e nutrientes por microorganismos e plantas;
- predação e redução natural de organismos patogênicos.

A partir da perspectiva da possibilidade de depuração dos esgotos mediada pelos elementos atuantes (solo, plantas, regime hidráulico e fauna) aliadas às limitações do seu uso no meio natural, surgiram os primeiros estudos utilizando estes princípios de tratamento em situações controladas – *leitos cultivados*, impedito à dispersão destas águas residuárias no solo e corpos d'água. Dentro da ótica dos *leitos cultivados*, os filtros plantados com macrófitas foram os pioneiros no tratamento de esgoto doméstico. A primeira concepção destas unidades de

tratamento entrou em operação em Othfresen, Alemanha, sendo chamando de processo de zona de raízes - *root zone method/RZM* (Kickuth, 1997 *apud* IWA Specialist Group on Use of Macrophytes, 2000).

A reformulação ou adaptação dos *banhados* naturais, sendo providas de sistemas de impermeabilização de fundo evita a infiltração e contaminação das camadas mais profundas do solo e do lençol freático subterrâneo de água. Nesta reformulação prevêem-se ainda dispositivos hidráulicos de entrada e saída dos esgotos, substrato artificial (leito filtrante – areia, brita, cascalho, etc) e as macrófitas aquáticas (SEZERINO 2002).

Para minimizar os riscos potenciais das águas residuárias os leitos cultivados se apresentam como método interessante de tratamento, por oferecer uma tecnologia de fácil construção, operação, manutenção e baixo custo.

Os filtros plantados com macrófitas são sistemas que dispõem de um material de recheio (usualmente empregado brita, areia ou cascalho) onde o efluente a ser tratado é disposto. O efluente irá percolar pelo material de recheio, também conhecido como material filtrante, onde as macrófitas empregadas, do tipo emergente, são plantadas diretamente (PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

Os processos de depuração da matéria orgânica e transformação da série nitrogenada, bem como a retenção do fósforo, são físicos (filtração e sedimentação); químicos (adsorção, complexação e troca iônica) e biológicos (degradação microbiológica aeróbia e anaeróbia, predação e retirada de nutrientes pelas macrófitas), ocorrendo tanto no material filtrante como na rizosfera (PHILIPPI e SEZERINO, 2004).

A remoção de poluentes nos leitos cultivados envolve uma complexidade de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem simultaneamente. Os

processos de tratamento incluem sedimentação, filtração, precipitação, sorção, decomposição microbiológica, nitrificação e desnitrificação (KADLEC, 1998; WYNN et al., 2001).

A redução dos valores de sólidos em suspensão se dá por sedimentação e filtração. Nos sistemas de fluxo superficial, os sólidos são removidos em parte por sedimentação e em parte por filtração através da vegetação. Em sistemas sub-superficiais, a remoção ocorre principalmente pela filtração no solo ou no substrato utilizado (FERREIRA et al., 2003).

Uma significativa parcela da DBO presente no percolado é removida pela sedimentação dos materiais orgânicos em suspensão. Parte dos compostos orgânicos em suspensão remanescentes e dos que se encontram em solução são degradados, via oxidação ou digestão anaeróbia, pela ação do biofilme bacteriano aderido ao meio filtrante e às raízes da vegetação, que utiliza a matéria orgânica como fonte de energia. Uma outra parcela orgânica do efluente ainda é removida pelas plantas, que a utiliza como nutriente (FERREIRA et al., 2003; KINSLEY et al., 2001; MÆHLUM, 1998; WYNN et al., 2001).

A remoção de nitrogênio através dos leitos cultivados envolve uma série de processos descritos por Barbosa (2002), Ferreira et al. (2003), Kinsley et al. (2001), Mæhlum (1998), Wynn et al. (2001).

A remoção do nitrogênio amoniacal acontece, sobretudo pela ação de microorganismos nitrificantes que, em condições aeróbias, o convertem em íons nitrito (NO_2^-) e posteriormente nitrato (NO_3^-), por sua assimilação pelas plantas e por adsorção através de reações de troca iônica no solo. Uma pequena parcela da amônia é perdida por volatilização sob a forma de amônia molecular (NH_3), isto é, não ionizada.

A volatilização da amônia não atinge valores significativos, pois o pH no interior dos leitos cultivados se mantém na faixa da neutralidade, não favorecendo tal processo, que ocorre predominantemente em meios básicos.

Os íons nitrato são absorvidos pelos vegetais como nutrientes e, sob a ação de bactérias desnitrificantes, em sítios anóxicos no interior dos leitos cultivados, são transformados novamente em nitrogênio molecular, possibilitando seu retorno para a atmosfera.

4.6. Tipos de leitos cultivados

Segundo Medeiros (2009) os leitos cultivados são divididos em configurações diferentes que indicam a direção do efluente em seu interior, tais como:

a) Leitos cultivados de fluxo superficial (LCFS): são canais com algum tipo de barreira subsuperficial, geralmente o próprio solo, que fornece condições de desenvolvimento para as plantas, sendo que a água flui a uma pequena profundidade (0,1 a 0,3m). Nos Estados Unidos o sistema de fluxo superficial é muito utilizado no tratamento terciário de grandes volumes de águas residuárias (Figura 4/a);

b) Leitos cultivados de fluxo subsuperficial (LCFSS): são essencialmente filtros lentos horizontais preenchidos com brita ou areia como meio suporte e onde as raízes das plantas se desenvolvem. Não oferecem condições para o desenvolvimento e proliferação de mosquitos e para o contato de pessoas e animais com a lâmina d'água. É muito utilizado no tratamento secundário de efluentes de pequenas comunidades, tanto nos Estados Unidos, Austrália e África do Sul (cascalho como meio suporte) quanto na Europa (tecnologia solo-base) (Figura 4/b);

c) Leitões cultivados de fluxo vertical (LCFV): filtros de vazão vertical intermitente (areia como meio suporte) ou por batelada (brita como meio suporte). Nível d'água abaixo do meio suporte, impossibilitando seu contato com animais e pessoas. Sistema com grande potencial para nitrificação. Os primeiros WCFV surgiram na Europa nos anos de 1970 e eram conhecidos como “campos de infiltração” na Holanda e sistema “Seidel” na Alemanha, às vezes conhecido como processo do Instituto Max Planck (Figura 4/c).

Nos leitões cultivados de escoamento superficial, como o próprio nome diz, a água ou o esgoto escoam sobre a superfície do solo. As macrófitas, neste caso, podem ser do tipo emergentes, emersas ou flutuantes (OLIJNYK, 2008).

Sezerino (2002) atribuiu aos Leitões Cultivados de Fluxo Subsuperficial, inúmeras vantagens, tais como a capacidade de remoção de SST e bactérias devido à habilidade de filtração, remoção de DBO superior à capacidade de transferência de oxigênio realizada pelas plantas ou pela troca de gases na interface ar/água, e boa capacidade de denitrificação. Possui como desvantagem a limitada capacidade de transferência de oxigênio que prejudica a realização do processo de nitrificação nestes leitões.

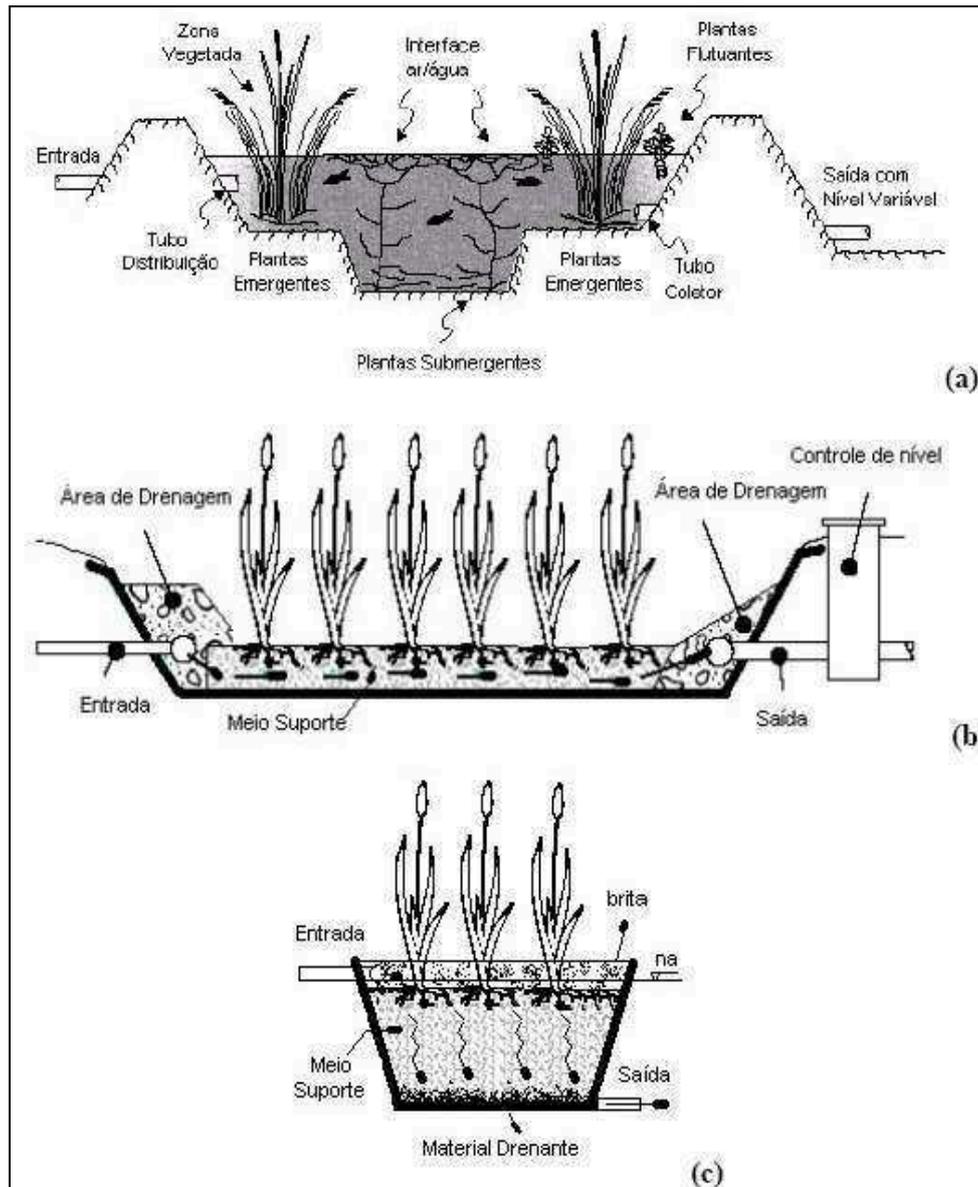


Figura 4: Leitos cultivados de fluxo (a) superficial, (b) subsuperficial e (c) vertical

Fonte: (a) Adaptado de USEPA, 1999; (b e c) de GUSTAFSON et al. (2001)

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 reuso; no manejo de lodo, de águas de escoamento superficial e contaminada com substâncias tóxicas; e na produção de biomassa (PATERNIANI et al., 2003).

A figura 5 ilustra o funcionamento de um leito cultivado.

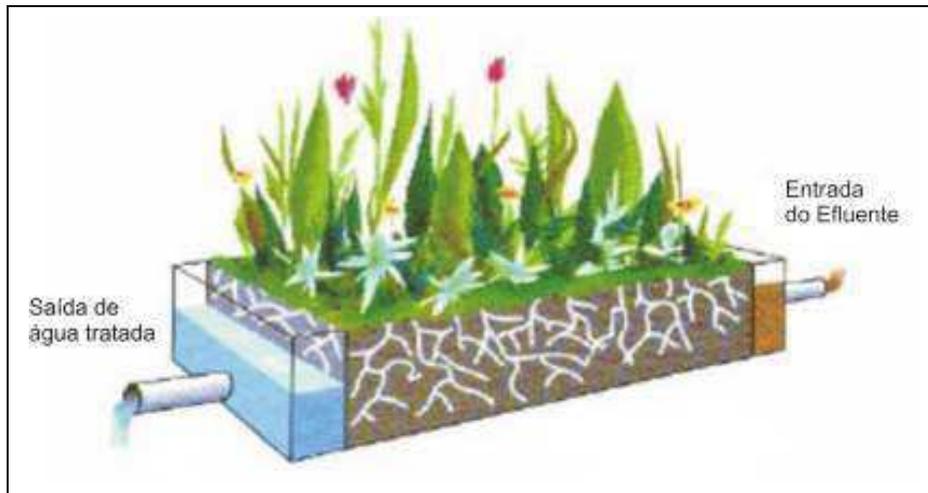


Figura 5: Ilustração do funcionamento de um leito cultivado

Fonte: Paterniani e Roston, 2003

4.7. – Pesquisas anteriores

Conforme citado anteriormente, os leitos cultivados visam replicar e aproveitar as características despoluidoras desse ambiente, Seidel em 1952 realizou na Alemanha um trabalho no qual foi testada a eficiência do *Scirpus lacustris* plantado sobre a brita para a remoção de fenol, ainda na Alemanha na década de 1970, Kickuth testou a eficiência na remoção de poluentes em leitos cultivados usando como meio de suporte solo de alta quantidade de silte e plantado com *Phragmites australis* (HEGEMANN, 1996).

Somente depois dos trabalhos de Wolwerton (1988) os leitos cultivados passaram a se difundir na América do Norte, nesse trabalho foi testada sua eficiência para tratamento de esgotos domésticos em residências não atendidas pelo sistema público.

Até o ano de 1999, mais de 200 comunidades nos Estados Unidos utilizavam os LC. Muitas aplicavam este sistema como polimento para lagoas de efluente,

como Phoenix/Arizona e Orange County/Florida. Em muitas cidades, os WCFS são utilizados no tratamento de comunidades de 5000 a 50000 pessoas. (USEPA, 1999).

Em São Paulo, no campus da UNESP, foram realizadas por Salati Filho et al. (1998) pesquisas de tratamento de esgotos com o uso de leitos cultivados, na UNICAMP Valentim (1999) utilizou leitos cultivados e em Santa Catarina, Oliveira (1993) testou em um sistema de tanques com aguapés (*Eichhornia crassipes*) no tratamento de efluentes de pocilga.

Além da eficiência, as plantas aquáticas apresentam sobre os filtros convencionais (solo ou pedras), uma estética mais agradável, o controle de mau odor, agindo como biofiltro de odor, possibilitando a instalação próxima à comunidades; o tratamento aeróbio e anaeróbio do efluente, retirando sólidos suspensos e microrganismos patogênicos; e o controle de insetos, por ação de plantas superficiais (VALENTIN, 1999).

Zanella reforça essa idéia com seu trabalho, no qual foram utilizadas plantas ornamentais, tais como copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*), mini papiro (*Cyperus isocladius*) e guaimbê (*Philodendron bipinnatifidum*) plantadas no leito.

Sezerino et al. (2000) avaliaram o desempenho de um leito de macrófitas com fluxo subsuperficial localizado na zona rural de Florianópolis, neste estudo foram montados como meio de suporte camadas de casca de arroz, areia e brita e plantado com capim roxo (*Echinochloa polystachya*).

Meira et al. (2001) focaram seus estudos na avaliação da influência do TRH em leitos cultivados com taboa (*Thypha sp.*).

Campos et al. (2002) avaliaram o uso de sistemas leitos cultivados, em escala piloto, para tratamento do chorume gerado pelo Aterro Sanitário de Piraí (RJ). Os leitos foram cultivados com *Typha sp.* e uma gramínea da região, e um sistema

permaneceu sem planta (controle). Foram conduzidos dois experimentos, um alimentado com chorume e outro com água.

O quadro 1 mostra, em ordem cronológica, outros estudos realizados entre 1956 e 1998.

Quadro 1: Compilação das várias aplicações de leito cultivado no tratamento de efluentes de 1956 a 1998.

<i>Ano</i>	<i>Tratamento</i>	<i>Condição</i>
1956	Efluente de gado confinado	Experimental
1975	Efluente de refinaria de petróleo	Operacional
1978	Efluente de indústria têxtil	Operacional
1978	Efluente da drenagem de mina ácida	Experimental
1979	Efluente de lago com piscicultura	Operacional
1982	Efluente da drenagem de mina ácida	Operacional
1982	Redução de eutrofização de lago	Experimental
1982	Escoamento superficial de chuva em área urbana	Operacional
1983	Efluente de fábrica de papel	Experimental
1985	Efluente de laboratório fotográfico	Experimental
1985	Efluente de fábrica de conserva de pescado	Experimental
1988	Chorume de aterro sanitário	Experimental
1988	Chorume do processo de compostagem	Operacional
1988	Efluente de gado confinado	Operacional
1989	Redução na eutrofização de lago	Operacional
1990	Efluente de cais do porto	Experimental
1991	Efluente de indústria de papel	Operacional
1993	Remoção de cor de efluente de indústria de papel	Experimental
1994	Desidratação de lodo de esgoto urbano	Experimental
1997	Efluente de indústria de processamento de batata	Operacional
1998	Efluente de hospital	Operacional

[Adaptado de WOOD et al. (1994); BURGON et al.(1998); EDWARDS et al.(1998) e LABER et al.(1998).]

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. - Localização da área de estudo

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

5.2. - Descrição do sistema de tratamento, pontos de coleta e período de estudo

O sistema de tratamento consiste de uma etapa de tratamento (Fossa séptica e filtros anaeróbios), seguida do filtro de leito cultivado com a espécie *Typha sp.*, conhecida popularmente por taboa.

A representação esquemática do sistema é mostrada na Figura 6.

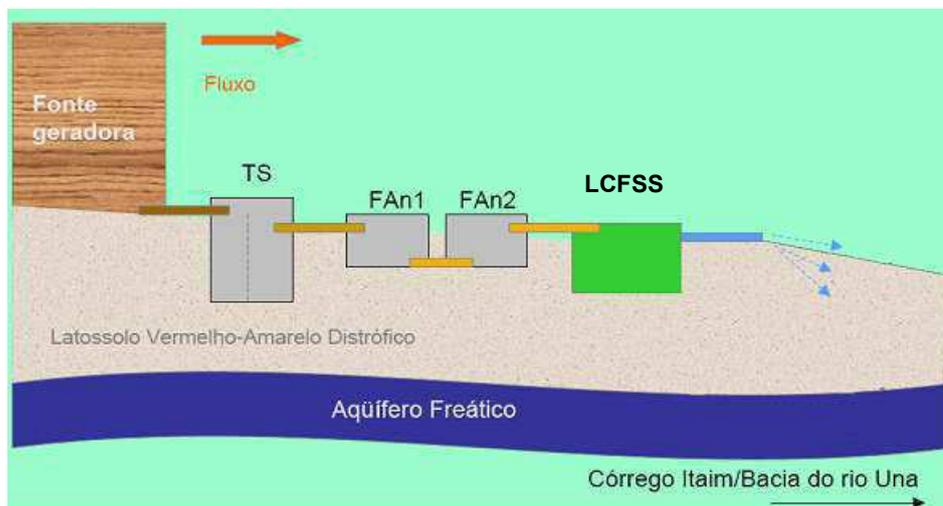


Figura 6. Esquema da seqüência de tratamento / filtração.
Fonte: Adaptado de Fortes Neto, 1997

O efluente coletado foi o do prédio central que em suma é constituído por resíduos de higiene humana, agroindustrial e também descartes laboratoriais, a vazão média gerada é de aproximadamente 211L/h.

As coletas iniciaram em 23 de fevereiro e foram encerradas em 27 de maio de 2010 e os pontos de coleta de efluente foram na caixa de passagem localizada antes do leito e no registro instalado após o leito cultivado.

A primeira fase do tratamento é composta por uma caixa séptica com capacidade limite de 30 m³, Andrade Neto (1997) afirmou que tais tanques são extremamente simples, em diferentes concepções, os quais apresentam a função de reter os sólidos contidos no esgoto, por sedimentação.

Um sistema de filtração anaeróbia composta basicamente por um par de caixas d'água de cimento amianto com dimensões de 150 mm de comprimento, 130 mm de largura e 50 mm de profundidade e capacidade limite de 1m³ cada, o fluxo do efluente se dá de forma descendente para a primeira caixa e ascendente para a segunda, filtros como este podem apresentar elevada eficiência na remoção de DBO e não exige uma unidade de decantação complementar.



Figura 7: Filtros anaeróbios
Fonte: Fortes Neto, 2009

A última etapa do tratamento, que será foco deste estudo, é composta por um tanque construído com cimento armado e com dimensões de 540 cm de comprimento, largura de 340 cm e a profundidade de 160 cm, sua capacidade total é de 15m³, seu interior é preenchido com brita nº2 que além de proporcionar a sustentação do leito cultivado ainda promove a retenção de partículas sólidas em suspensão no efluente.

Considera-se como volume útil V_U , a diferença entre o volume efetivo do leito de tratamento (V_e) e o volume ocupado pelo elemento filtrante, que neste caso é o leito de brita 2. Como base, serão utilizados os procedimentos adotados no trabalho de Mannarino (2003). 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 mesmas (admitido para facilitar os cálculos).

$$V_u = V_e \left(\frac{V_c - \frac{4}{3} \pi r^3}{V_c} \right)$$

Fica evidente, que 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. ($V = 82\%V_u$)

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, as tabelas 2

e 3 mostram os dias, horários, tempo gasto para encher um volume de 1 litro e a respectiva vazão efluente média (Q_a e Q_e).

5.3. - Metodologia de Análise dos Resultados do Tratamento de Efluente no Sistema Proposto

A eficiência do tanque de tratamento foi medida em termos da capacidade do sistema remover poluentes, comumente controlados pelos órgãos reguladores do governo, logo após período aproximado de dois meses sem fluxo efluente. Inicialmente não houve qualquer intervenção e em seguida foi feita a remoção de toda a matéria vegetal morta seguida de um novo plantio de mudas da macrófita *Typha sp.*

Foram analisados: pH, temperatura, turbidez, DBO, DQO, nitrogênio, fósforo, e coliformes termotolerante.

5.3.1. - Método das Análises Físico-Químicas e Microbiológica

a) Turbidez

Para determinação da turbidez, foi empregado o método indireto, com a utilização de nefelômetro eletrônico, cujos resultados foram reportados como unidade nefelométrica de turbidez (NTU) utilizando espectrofotômetro HACH DR 2010 (FUNASA, 2006).

b) pH e Temperatura

Para determinação do pH e da temperatura, foi utilizado pHmetro digital da marca ORION Modelo 303 (FUNASA, 2006).

c) Determinação do teor de nitrogênio e fósforo

Segundo a Resolução CONAMA nº 357 de 2005, os padrões de qualidade para os corpos d'água das diversas classes encontram-se definidos em concentrações máximas permitidas para cada espécie nitrogenada.

Para realização da determinação de nitrogênio, as amostras que apresentaram material em suspensão foram previamente filtrado um volume de 200 mL através de filtro de 0,45 µm, e se utilizou 50 mL do filtrado ou volume diluído a 50 mL. No caso de turbidez/cor a amostra foi clarificada com adição de 2 mL de hidróxido de alumínio a 100 mL de amostra, e filtrado por papel filtro.

Para condução do ensaio foi empregada proveta com tampa com 50 ml de amostra (ou amostra filtrada, ou clarificada), ou volume menor diluído a 50 mL, ao qual 1 mL de reagente de sulfanilamida foi adicionado, após 5 minutos, 1 mL de dicloreto de N - (1-naftil) etilenodiamina, foi incorporado, sendo as amostras lidas em espectrofotômetro a 540 nm, em intervalos variáveis de 10 minutos a 1 hora. Os resultados foram comparados a uma curva de calibração construída com o padrão nitrito, sendo empregado como branco, água destilada e repetindo o procedimento executado para a amostra (FUNASA, 2006).

Para a determinação de fósforo em uma amostra de 50 mL foi adicionada de 1 ml de ácido sulfúrico concentrado e 5 mL de ácido nítrico depois foi digerida por 1 hora a 105°C. Após resfriamento adicionou-se á ao meio 3 gotas de fenolftaleína (em NaOH 1N). Foram adicionados 16 mL de solução desenvolvedora de cor (ácido sulfúrico 5N, tartarato misto de antimônio e potássio hemihidratado, molibdato de amônio e ácido ascórbico) e a leitura foi feita em espectrofotômetro a 880 nm após 30 minutos. Foi utilizado como branco, água deionizada. Os resultados foram

comparados aos de uma curva padrão preparada com fosfato de potássio anidro (FUNASA, 2006).

d) Determinação de DQO e DBO

1 - Demanda Química de Oxigênio (DQO)

As amostras coletadas foram devidamente colocadas em tubos de ensaio com solução previamente preparada de acordo com metodologia descrita pela HACH e incubadas a 150C por duas horas. Logo após, a demanda química de oxigênio (DQO) foi realizada, utilizando espectrofotômetro HACH DR 2010 num comprimento de onda de 620 nm. Os resultados foram reportados em mg/L de O₂ (OPAS, 1999).

2 - Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

As amostras coletadas foram devidamente colocadas em frascos de vidro tipo âmbar com capacidade de 1 L. Os frascos com agitador magnético e com o reagente hidróxido de lítio, que é captador de oxigênio, foram incubados em estufa de DBO modelo HACH BODTrack a 20° C por 5 dias. Os resultados puderam ser acompanhados diariamente e foram reportados em mg/L de O₂ (OPAS, 1999).

A Tabela 1 mostra que o volume de amostra nos frascos poderiam variar de acordo com a expectativa de DBO, sendo assim o volume das amostras poderiam variar de 95 a 420 ml.

Tabela 1. Índice de DBO prevista

Expectativa DBO (mg/L)	Volume amostra (ml)	Unidade (mg/L)
0 – 35	420	0 – 35
0 – 70	355	0 – 70
0 – 350	160	0 – 350
0- 700	95	0 – 700

e) Análises Microbiológicas

Foi empregado o método clássico de análise de coliformes, (FUNASA, 2006), constituído de 5 etapas sucessivas, conforme descrito a seguir:

1. Teste presuntivo dos coliformes (totais)

Foram empregados 5 tubos de caldo de lactose (duplo) com o volume de amostra de 10 ml; 5 tubos de caldo de lactose simples - 1,0 ml; e outros 5 tubos de caldo de lactose simples - 0,1 ml. Os frascos foram agitados. Foram transferidos 10 ml, transferir para os 5 tubos de caldo de lactose dupla, para os 5 tubos de caldo de lactose simples 1,0 ml de amostra e para os 5 tubos de caldo de lactose simples com 0,1 ml de amostra. As amostras foram convenientemente diluídas, se necessário.

Os tubos foram incubados a aproximadamente 35 °C durante 24-48 horas, sendo observados com relação ao número de tubos de cada série que têm 10% ou mais gás nos tubos de Durham. Foi calculado o NMP de coliformes totais consultando a tabela da FUNASA.

2. Teste de confirmação dos coliformes (totais)

Na seqüência, um tubo de caldo de lactose, com resultado presumível positivo, foi utilizado para transferir uma alçada para placa de agar Levine EMB. As placas foram incubadas a 35 °C durante 24 horas.

Após este período, as placas foram analisadas em busca de colônias típicas de coliformes no agar Levine EMB (com um centro negro).

Sendo as colônias de *Escherichia coli* são pequenas e com um brilho esverdeado metálico; as de *Enterobacter aerogenes* são, geralmente, maiores e sem brilho.

3. Teste completo dos coliformes (totais)

Um tubo de caldo de lactose e um tubo de Agar inclinado nutritivo foram inoculados com uma colônia típica do Agar Levine EMB anteriormente identificada. Os tubos incubados a 35 °C durante 24-48 horas e examinados sobre a produção de gás no caldo de lactose.

Foi então preparada uma coloração de Gram a partir da cultura no Agar inclinado e examinado ao microscópio com objetiva de imersão.

4. Teste presuntivo dos coliformes termotolerante

Para esta identificação, os tubos foram incubados 44,5 °C durante 24-48 horas, registrando-se o número de tubos com produção de gás nos tubos de Durham. Foi calculado o NMP de coliformes fecais consultando-se a tabela da APHA.

5. Teste de confirmação dos coliformes termotolerante

Utilizando tubo contendo caldo de lactose com resultado presumível positivo de coliformes fecais, uma alçada foi transferida para tubo com meio EC que foi incubado a 44,5 °C durante 24 horas examinado para a produção de gás no tubo com meio EC que confirma a presença de coliformes termotolerante.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. – Estimativa do volume, vazão e TRH do sistema.

6.1.1. – Volume útil do sistema de leito cultivado

Os cálculos matemáticos e seus respectivos resultados para volume útil do leito em estudo são mostrados na equação 1.

$$V_u = V_p \left(\frac{V_G - \frac{4}{3}\pi r^3}{V_G} \right) \therefore V_u = 15 \frac{[(0,022)^3 - \frac{4}{3}\pi(0,011)^3]}{(0,022)^3} = 7,14m^3 \quad (\text{equação 1})$$

Na equação 2 o resultado do volume sofre um ajuste que considera sedimentos e sistema radicular dispostos no tanque, usando esta aproximação, teremos:

$$V = V_u \times 82\% \therefore V = 7,14 \times 0,82 = 5,85m^3 \quad (\text{equação 2})$$

6.1.2. – Vazões afluente e efluente.

Os valores médios do período monitorado para Q_a e Q_e foram de, respectivamente, 210 L/h e 160 L/h.

Tabela 2: Valores de vazão afluente monitorado no sistema de LC.

Data	horário	Tempo	L/h
31/mar	08:31	20,33	177,0
31/mar	10:00	19,04	189,0
31/mar	12:15	14,74	244,2
31/mar	14:07	23,89	150,6
31/mar	16:46	14,33	251,2
31/mar	18:10	22,05	163,2
31/mar	20:14	19,89	180,9
7/abr	08:07	22,55	159,6
7/abr	10:18	17,35	207,4
7/abr	12:01	16,41	219,3
7/abr	14:23	21,72	165,7
7/abr	16:30	17,64	204,0
7/abr	18:30	20,18	178,3
7/abr	20:07	18,05	199,4
12/abr	08:23	31,04	115,9
12/abr	10:07	16,39	219,6
12/abr	12:55	16,41	219,3
12/abr	14:35	19,03	189,1
12/abr	16:05	14,45	249,1
12/abr	18:00	22,28	161,5
12/abr	19:40	19,05	188,9
Vazão média =			211,1

Tabela 3: Valores de vazão efluente monitorado no sistema de LC.

Data	Horário	Tempo (s)	Vazão (L/h)
31/mar	08:40	31,13	115,6
31/mar	10:12	26,44	136,1
31/mar	12:23	23,44	153,5
31/mar	14:15	23,04	156,2
31/mar	16:54	17,99	200,1
31/mar	18:18	27,08	132,9
31/mar	20:21	24,88	144,6
7/abr	08:12	29,44	122,2
7/abr	10:25	18,19	177,9
7/abr	12:15	22,06	163,1
7/abr	14:34	19,03	189,1
7/abr	16:50	20,4	176,4
7/abr	18:38	21,77	165,3
7/abr	20:18	19,63	153,3
12/abr	08:30	33,48	107,5
12/abr	10:15	18,15	198,3
12/abr	13:03	17,66	123,8
12/abr	14:47	18,8	151,4
12/abr	16:21	17,36	147,3
12/abr	18:13	19,28	186,7
12/abr	20:00	19,95	180,4
Vazão média =			157,2

Para fins estatísticos foram adotados para representar as vazões de entrada e saída, respectivamente as siglas Qa e Qe.

6.1.3. – Cálculo do tempo de retenção hidráulica.

A equação 3 representa o cálculo utilizado para se obter o TRH do sistema.

$$TRH = \frac{5,85m^3}{211 \frac{L}{h} \times 24h \times 1m^3 + 1000L} \therefore TRH = 1,15 \text{ dias} \quad (\text{equação 3})$$

O volume e a vazão em leitos cultivados influenciam diretamente o TRH, sendo que este parece ser um importante item para a eficiência dos leitos cultivados, Valentin (2004), que comparou tanques com diferentes TRH (1, 2, 3, 4, 5 e 6 dias), obteve aumento na remoção de DQO, Turbidez, Sólidos e Nitrogênio-nitrato, nos tanques com TRH de 6 dias, Meira et al. (2001) seguindo a mesma linha comparou

leitões com tempos de retenção hidráulica de 1 a 10 dias e relatou um aumento médio de 15% na remoção de coliformes termotolerante no tanque com o maior tempo, Campos et al. (2002) também segue o modelo e comparou caixas que operaram em bateladas com TRH de 3, 4, 5 e 7 dias, neste caso a eficiência na redução de DBO foi de 86% para 7 dias contra 61% para 4 dias, para nitrogênio-amoniaco obteve-se remoção de 89% contra 83% para TRH de 7 e 3 dias.

Em geral as investigações adotam TRH mais elevados, quando comparados com este trabalho, Sezerino (2002) utilizou em sua pesquisa, que tratava dejetos suínos, TRH de 7,5 dias, Toniatto (2005) adotou o tempo de retenção hidráulica de 6,15 dias no tratamento de esgotos domésticos.

6.2. – Estado do leito cultivado durante o período do estudo.

A sazonalidade na frequência e na intensidade do fluxo de pessoas é, sem dúvida alguma, um problema na manutenção de estações de tratamento de esgotos em Instituições de ensino, períodos de recesso e férias acadêmicas praticamente interrompem a geração de efluentes forçando paradas de operação no sistema, tal situação ocasiona morte parcial ou até mesmo total das colônias de microorganismos e macrófitas em sistemas do tipo leito cultivado.

O sistema abordado neste estudo passou por um período de aproximadamente dois meses praticamente sem operação, isso ocasionou uma alta mortalidade da vegetação e possibilitou uma invasão maciça de brachiarias competidoras. A figura 8 mostra a situação do leito cultivado após, aproximadamente, 3 semanas em reinício de operação.



Figura 8: Vista lateral do tanque.

Fica clara a intensidade do dano que períodos relativamente longos de interrupções causam na manutenção da vida em macrófitas utilizadas nos sistemas de leito cultivado, no caso em estudo somente alguns pequenos brotos da espécie *Typha sp.* apresentavam características salustres. A figura 9 mostra, em detalhes, um desses pequenos exemplares



Figura 9: Vista de um exemplar de *Typha sp.*

Em 15 de abril de 2010 foi feita uma manutenção no qual foram removidos totalmente os restos vegetais de brachiarias invasoras, no processo se teve o cuidado de preservar as mudas de Typha que haviam se desenvolvido até então, foram também plantadas 12 novas mudas da mesma espécie para melhorar o processo de recuperação do mesmo. Na figura 10 é possível verificar o resultado do plantio efetuado.



Figura 10: Vista lateral do leito logo após manutenção.

No decorrer dos estudos foi possível constatar, visualmente, o desenvolvimento das macrófitas dispostas no leito, provavelmente a redução nos valores de alguns dos parâmetros analisados e mostrados adiante está associada ao ganho de biomassa das plantas. A figura 11 mostra as macrófitas com 20 dias após o transplante das mudas, verifica-se houve notório desenvolvimento.



Figura 11: Vista lateral do leito cerca de 30 dias após manutenção

6.3. – PARÂMETROS FÍSICOS

6.3.1. – Temperatura.

A temperatura medida no período de estudo é mostrada na figura 12.

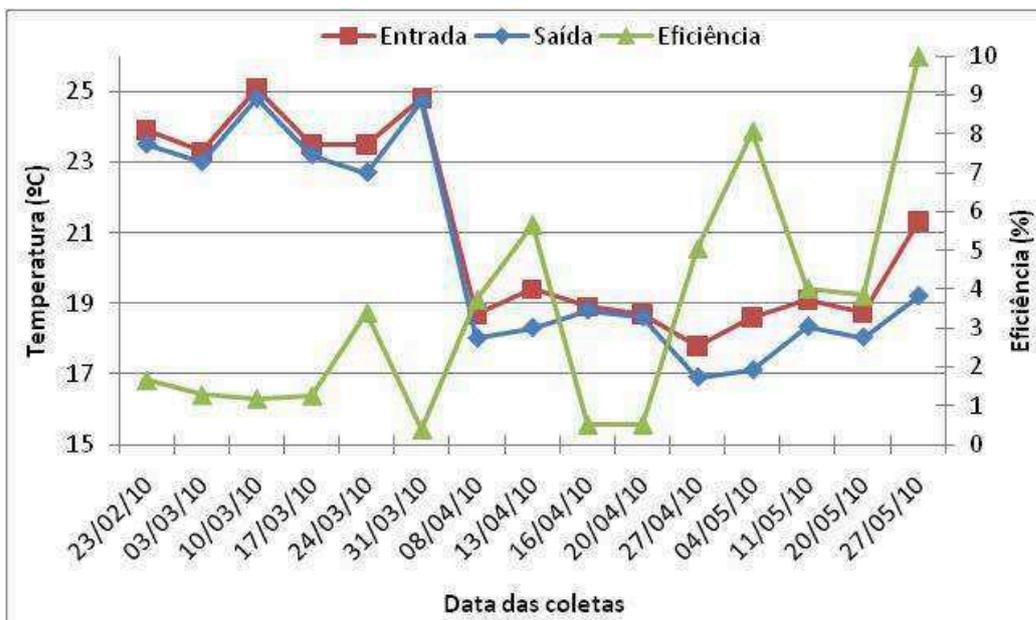


Figura 12: Variação da temperatura e eficiência durante período de estudo.

A variação da temperatura do esgoto no leito cultivado, por ser uma fase aberta, é influenciada pelas mudanças climáticas que ocorrem no ambiente (TONIATTO, 2005).

Os resultados amostrados 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 se dá pela exposição às alterações climáticas que este tipo de sistema possui.

Na literatura os valores encontrados tendem a variar de acordo com a época do ano, Garcia (2009) obteve em seus estudos valores de 28 e 24°C para entrada e saída, respectivamente, sendo que a época do estudo ocorreu entre dezembro de 2008 e fevereiro de 2009, Toniatto (2005) em seu estudo realizado entre dezembro de 2004 e março de 2005 mensurou um valor médio de 27°C entrando e na saída 23°C, já Sousa (2003) em seu estudo realizado em Campo Grande entre os meses de junho de 2002 e janeiro de 2003 obteve resultados médios de 22 e 24°C para esgotos efluentes e afluentes, respectivamente.

6.3.2. –Turbidez.

O parâmetro de turbidez é mostrado na figura 13.

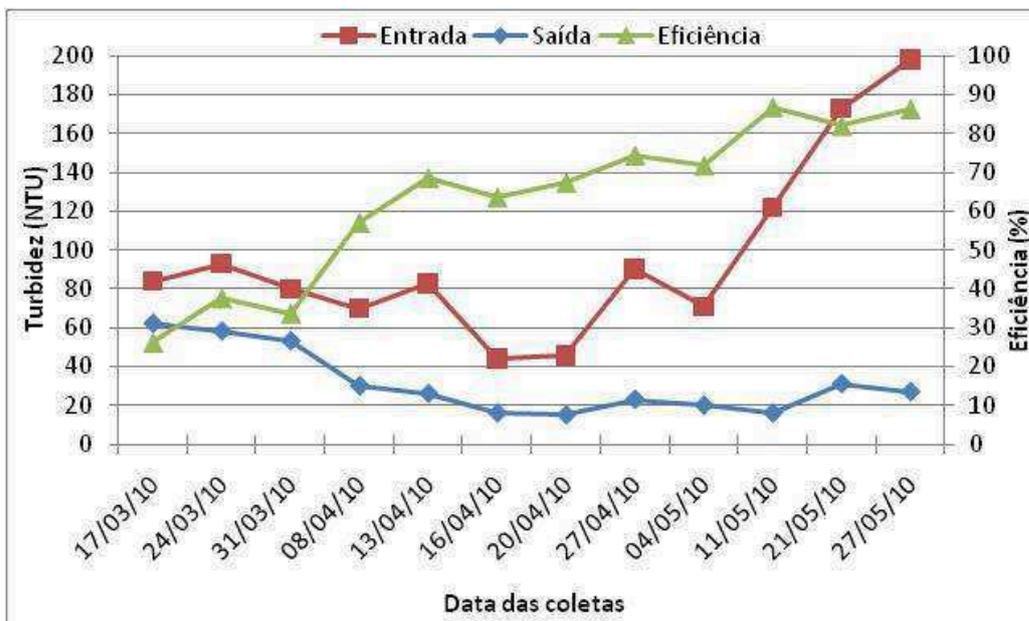


Figura 13: Valores de turbidez e eficiência amostrada durante o período de estudo.

Os resultados mostram um aumento gradativo na eficiência ao longo do estudo, sendo na primeira coleta 26,19% e na última 86,36%, como valor médio a remoção do parâmetro em questão ficou em 63%.

Reis (2003) avaliou um sistema do tipo leito cultivado para o tratamento de esgotos domésticos na cidade de Alagoinhas (BA), o resultado da eficiência média do sistema ficou em 48,4%.

Meira (2004) avaliou um sistema com leito misto de brita e areia, plantado com *Typha sp.* no tratamento de um rio urbano com poluição típica de descartes domésticos e industriais, 97% foi o valor médio de eficiência obtido.

Silva (2007) avaliou o desempenho de um sistema de leito cultivado de fluxo vertical descendente, utilizando como meio de suporte latossolo vermelho-amarelo misturado com areia, plantado com arroz (*Oryza sativa L.*), seus resultados mostraram uma eficiência média de 99,15%.

Sousa (2003) avaliou em diferentes tempos de retenção hidráulica (6, 12, 24 e 36h) a eficiência de um leito plantado com *Spartina alterniflora* no tratamento de efluentes de carcinicultura, os resultados foram de 52,1%, 60,5%, 69,4% e 81,0% para os respectivos TRH.

Tomando como base os resultados reportados pode-se afirmar que a eficiência deste estudo segue a tendência encontrada em outros trabalhos.

Os valores mais baixos no início das operações com tendência a melhora no decorrer das coletas pode ser atribuído a um repovoamento do leito de britas por microorganismos, que se intensificou após o replantio das macrófitas associadas.

6.4. – Parâmetros Químicos

6.4.1. – Potencial Hidrogeniônico (pH)

A figura 14 mostra os valores de pH amostrados durante o período de estudo.

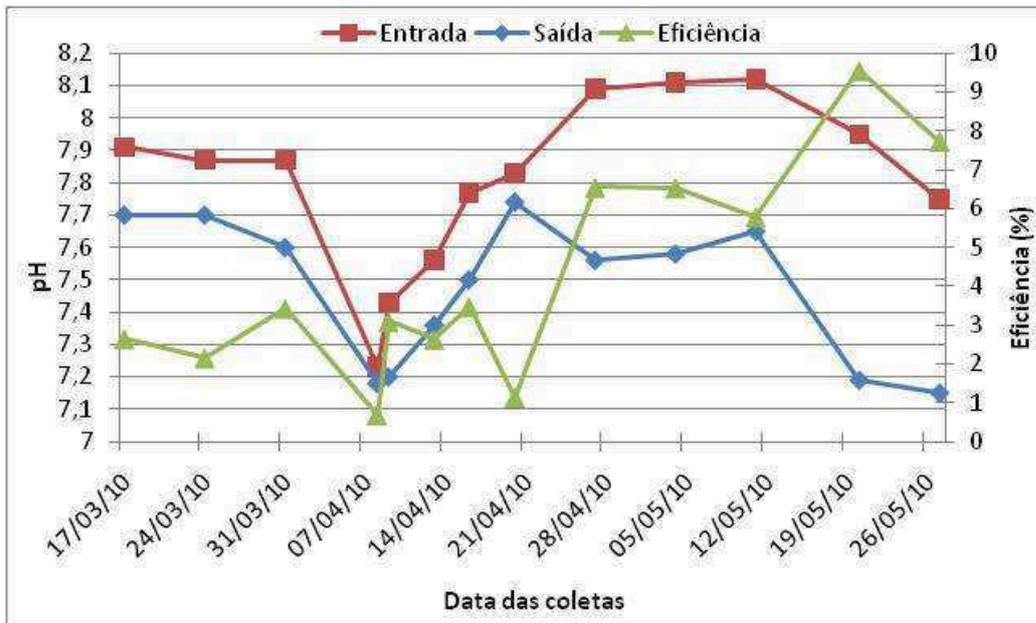


Figura 14 Valores de pH e eficiência amostrada durante período de estudo.

Em todo o período de estudo foram amostrados valores de pH afluente acima da neutralidade (média=7,82), sendo que os valores de saída parecem ser afetados pela capacidade tampão do leito cultivado (média=7,47).

Na literatura normalmente os leitos cultivados com fluxo subsuperficial tendem a neutralizar o pH durante a passagem do fluxo pelo leito, mas ainda não é muito bem explicado o motivo dessa ocorrência. Gschlöbl et al. (1998) afirma que em sistemas de leitos cultivados que recebem efluentes de lagoas de estabilização em faixas alcalinas tendem a levá-los a valores mais próximos da neutralidade, já em pós-tratamentos de efluentes sépticos e primários, que normalmente produz em seu processo ácidos orgânicos levando o pH a valores baixos, os leitos cultivados tendem a aproximá-los da neutralidade (KADLEC et al., 1997; KASEVA, 2003).

Avelar (2008) obteve em seus estudos, realizados no Espírito Santo, valores variados de pH (7,3 a 11,8) e em todos de forma unânime os valores de saída mostraram-se mais próximos da neutralidade (média=7,19).

Os resultados de Meira et al. (2001) também indicam a tendência do pH ser neutralizado, neste caso foi avaliado um leito de fluxo sub-superficial e os valores médios afluentes e efluente foram, respectivamente, 7,7 e 7,5.

Já Marques et al. (1996) obteve resultados proporcionalmente inversos aos anteriores, mas que, no entanto reforçam o atributo tampão designado aos leitos cultivados, nesse caso o efluente de entrada apresentava valores próximos de 4,0 mas na saída do tanque o valor médio foi de 6,7.

6.4.2. – Nitrogênio Amoniacal e Nitrato.

Os valores de nitrogênio-amoniacoal e nitrogênio-nitrato são mostrados nas figuras 15 e 16.

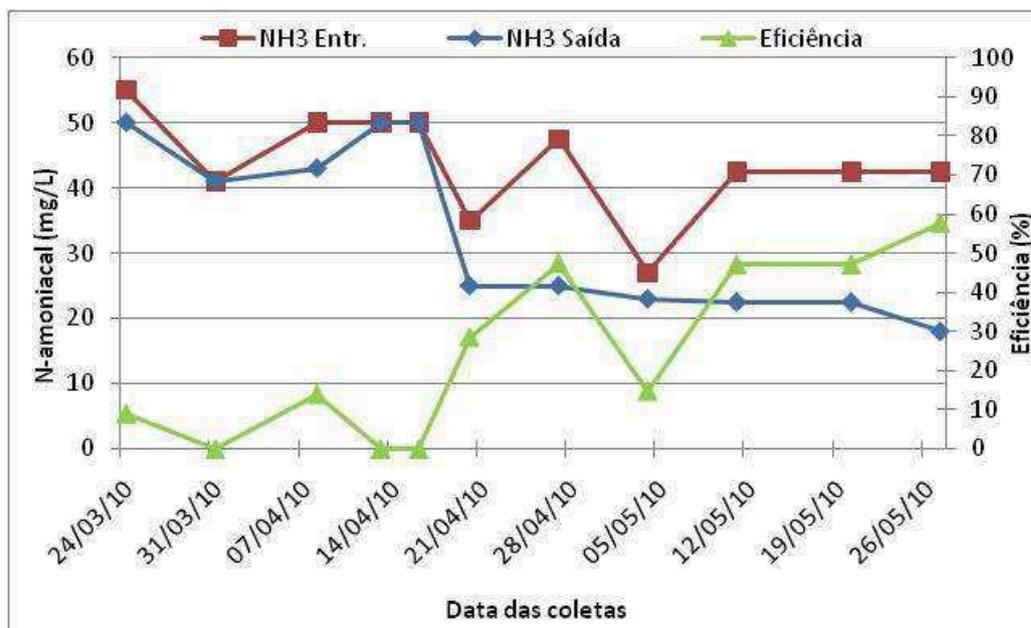


Figura 15: Valores de N-amoniacoal e eficiência amostrada durante o período de estudo.

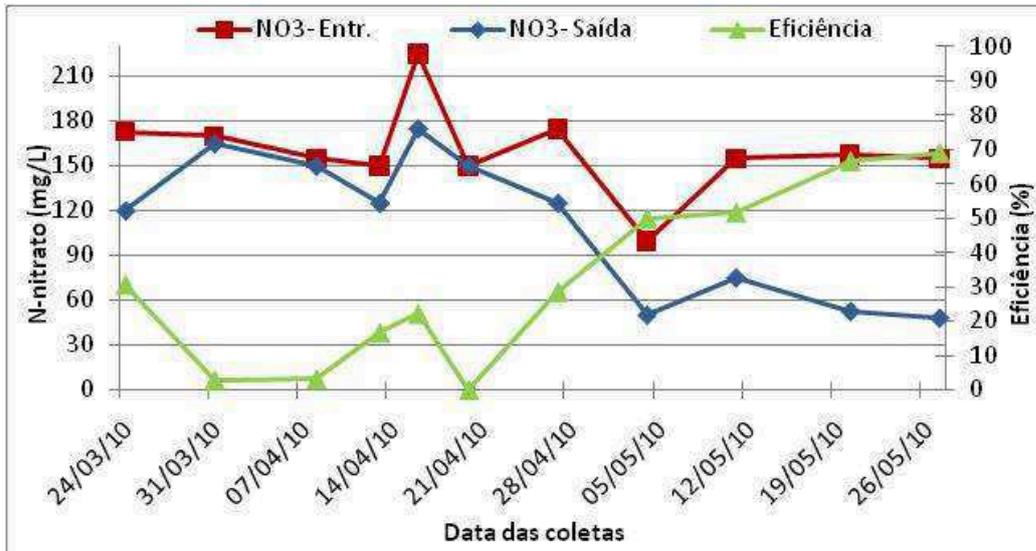


Figura 16: Valores de N-nitrato e eficiência amostrada durante o período de estudo.

Pode-se conhecer a presença e aquilatar o grau de estabilidade da matéria orgânica pela verificação da forma como estão presentes os compostos de nitrogênio na água residuária (DRIVER et al., 1972; PESSOA et al., 1982; PAGANINI, 1997). Von Sperling (2005) afirmou que se a poluição é recente, o nitrogênio estará basicamente na forma de nitrogênio orgânico ou amônia e, se antiga, na forma de 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 nas etapas de tratamento anteriores (fossa séptica e filtros anaeróbios) é menor que a capacidade, com isso o tempo de detenção hidráulica se eleva possibilitando a conversão de grande parte do nitrogênio orgânico em nitrato, outros fatores que também se pode atribuir esses resultados são: temperatura e pH no leito (Figuras 10 e 11).

Quanto à eficiência do leito na remoção das formas de nitrogênio estudadas, podemos dividir em dois períodos, o primeiro leva em consideração as coletas efetuadas com o leito degradado (NO_3^- =12,62% e NH_3 =2,18%) e o segundo após o plantio em 15/abril/2010 (NO_3^- =53,18% e NH_3 =37,95%). Essa diferença pode ser

atribuída à colaboração da cobertura vegetal nos processos de nitrificação e assimilação.

Sezerino et al. (2000) avaliaram um leito cultivado de escoamento subsuperficial instalado em uma propriedade rural em Florianópolis/SC. O leito era preenchido com meio suporte composto por camadas de casca de arroz, areia, brita e solo argiloso e cultivado com capim roxo (*Echinochloa polystachya*). A eficiência obtida para remoção de NH_3 foi de 74%, para NO_3^- houve um acréscimo de 400% no efluente de saída. Esse panorama foi atribuído ao alto nível de desenvolvimento do vegetal, que passou a contribuir pouco na assimilação do nitrato.

Olijnyc (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.

6.4.3. – Fósforo total

A figura 17 mostra a variação de fósforo durante o período estudado:

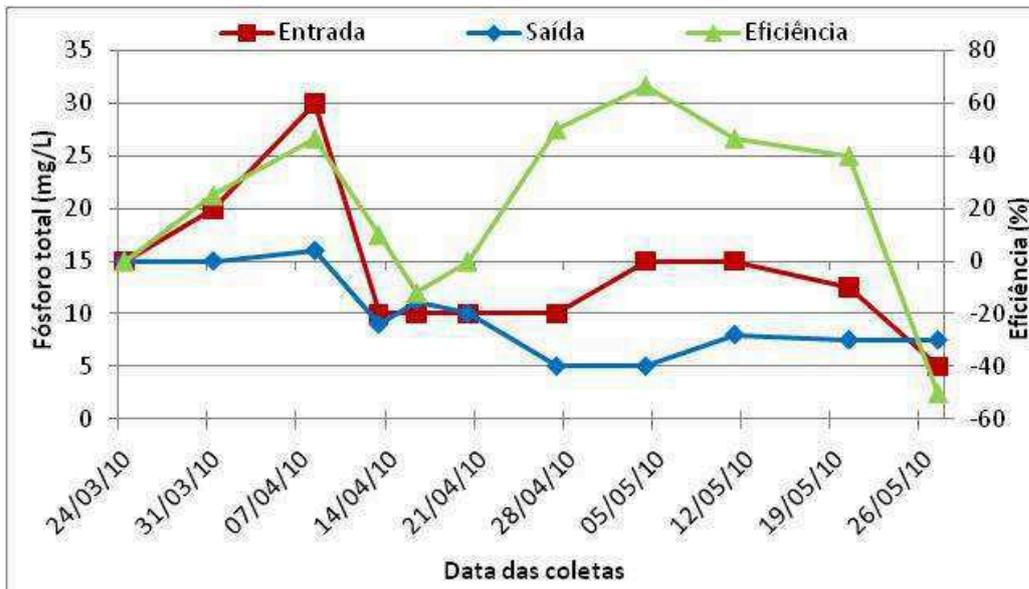


Figura 17: Valores de Ptotal e eficiência amostrada durante período de estudo.

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 20,27%, no entanto em dois momentos (16/abril e 27/maio/2010) a eficiência foi negativa.

Na literatura, os valores de eficiência encontrados são dos mais variados, Urbanc-Bercic et al. (1995), analisou um leito vegetado com *Phragmites australis*, que servia como pós tratamento para um tanque séptico obteve uma eficiência de 97,1% na remoção de fósforo.

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 Piraí (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 Agrônômica/SC, tinha como objetivo tratar suas águas residuárias (origem doméstica e agroindustrial). A eficiência média demonstrada ao longo do trabalho foi de 13%.

Toniato (2005), em seu estudo intitulado “Avaliação de um leito cultivado no tratamento de efluentes sépticos – estudo de caso Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brasil” teve como resultado 17% na remoção de fósforo.

Em todos os casos citados, é atribuído ao índice de eficiência o tempo de utilização do meio filtrante.

Ceballos (2000) afirmou que sistemas de leitos cultivados normalmente não apresentam altos índices de remoção desse nutriente, pois em geral os valores de entrada ultrapassam muito sua capacidade retentora.

A assimilação pelas plantas é uma das formas de remoção, mas mostra-se insuficiente se comparado com a concentração presente no afluente. Outro mecanismo importante, mas também com eficiência temporária, é a precipitação / troca iônica / 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, 1997 e MERZ, 2000).

Essa tendência a perda de capacidade é muito bem demonstrada no trabalho de Souza et al. (2002) que avaliou o leito cultivado por 36 meses e os resultados

mostraram uma diminuição quando comparado 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 encontra-se prejudicada, pois a mesma já está em utilização desde 2004.

6.4.4. – Demandas Bioquímica e Química de Oxigênio

Os resultados obtidos para DBO e DQO no sistema estudado são apresentados nas Figuras 18 e 19.

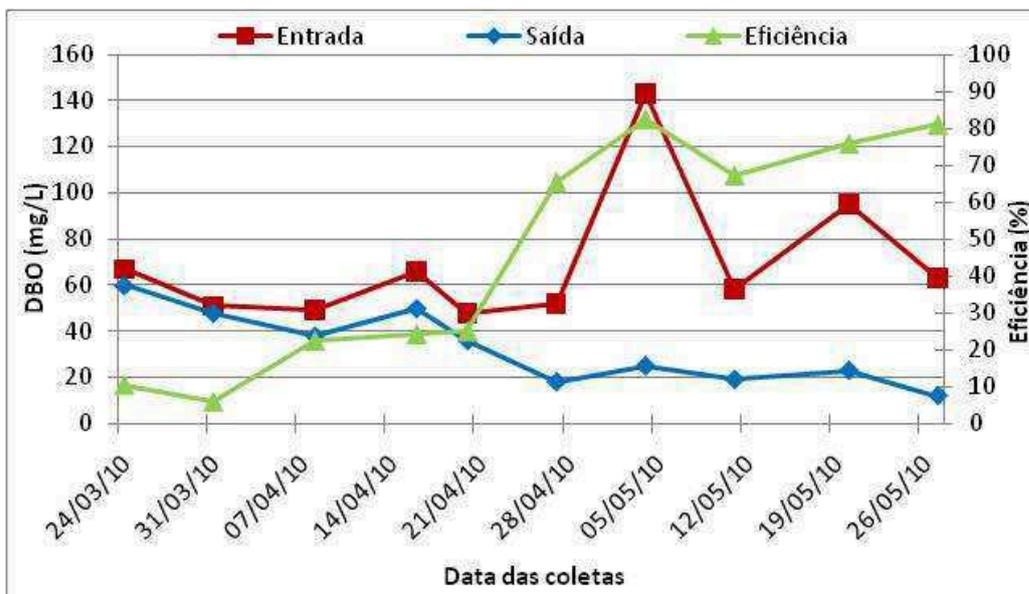


Figura 18: Valores de DBO e eficiência amostrada durante período de estudo.

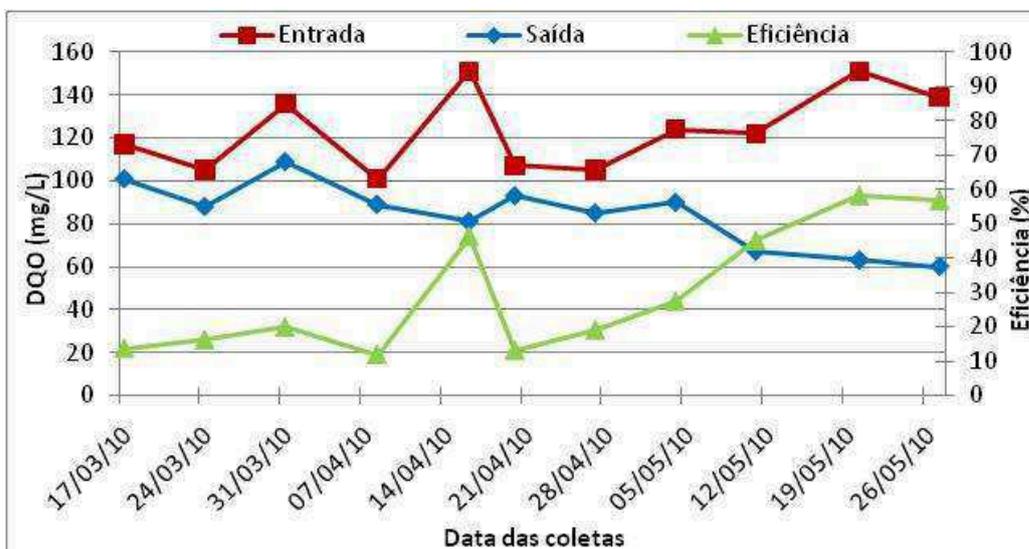


Figura 19: Valores de DQO e eficiência amostrada durante período de estudo.

A maioria dos estudos que envolvem sistemas de leitos cultivados tem como resultado valores elevados na remoção da DBO e DQO, não foi essa a tendência demonstrada no estudo em questão, a eficiência média ficou em 45,99% para a demanda bioquímica e 29,72% para demanda química de oxigênio.

Costa (2004) comparou as diferenças entre *Pennisetum purpureum* e *Phragmites australis* na remoção de parâmetros físico-químicos. Seus resultados para DBO foram de 99,0% para a primeira espécie e 98,30% para a segunda, os valores de DQO também foram elevados, sendo de 88,80 e 91,80% para as respectivas espécies.

Toniato (2005) verificou a eficiência de um leito cultivado utilizado no pós-tratamento de um tanque séptico resultados de 86% para a DBO e para a DQO 87%. Queiroz (2001) mediu a eficiência de um leito cultivado alocado no pós-tratamento 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%.

Em todos os 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 pequeno aumento nos resultados do pós-plantio, a Tabela 4 mostra os períodos e suas respectivas eficiências.

Tabela 4: Eficiência para DBO e DQO antes e depois do 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 influenciado pela manutenção pois logo depois do plantio das novas mudas nota-se um decaimento nos seus valores (figura 17), a intensidade de melhora também foi expressiva (quadruplicou), mostrando que o aumento na oferta de O₂ 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) afirma que sua remoção é principalmente obtida através de meios de retenção físicos, sem depender fortemente do fornecimento de O₂, não era de se esperar que o replantio das mudas interferisse significativamente nesse parâmetro.

6.5. – *Coliformes termotolerante*.

A figura 20 mostra os valores de *Coliformes termotolerante* amostrados em todo o período de estudo.

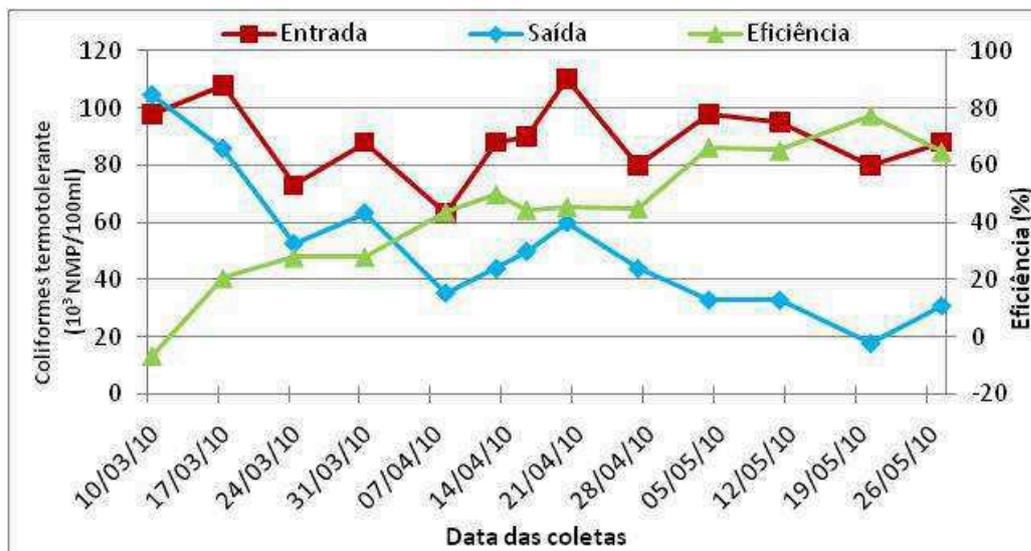


Figura 20: Valores de *Coliformes termotolerante* e eficiência amostrada durante período de estudo.

Para o parâmetro em questão, foram amostrados resultados de eficiência variados, ocorrendo desde valores negativos (-6,63%) até outros mais elevados (77,50%). De forma global o valor médio da eficiência ficou em 45,99%.

Roston (1994) desenvolveu um sistema para tratar a água residuária de duas casas de fazendas localizadas no Colorado/Estados Unidos. Seu trabalho testou um leito cultivado com *Typha sp.* e substrato de brita, seus resultados mostraram uma eficiência média na remoção de coliformes termotolerante de 94%.

Valentin (1999) comparou dois leitos de fluxo subsuperficial com diferentes formatos (quadrado e retangular), a espécie utilizada foi *Eleocharis sp.* e os resultados obtidos mostraram uma mínima variação entre os formatos (quadrado=96% e retangular=97%), sendo que ambos foram eficientes.

Borges et al. (2002) estudaram e avaliaram a eficiência do sistema de leito cultivado no tratamento de águas do rio Corumbataí, que é altamente contaminada por esgotos domésticos e resíduos industriais, e observaram que a eficiência média na remoção de coliformes foi de 95% e o TRH testado foi de 10 dias.

Meira (2004) utilizou 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.

Toniatto (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 termotolerante* (99,86%)

Os microrganismos patogênicos presentes nas águas residuárias são eliminados através de significativo decaimento natural e das condições ambientais desfavoráveis a que são expostos nos leitos cultivados (temperatura, pH e

substâncias químicas desfavoráveis), através de adsorção e filtração pelo meio suporte e sedimentação (REED, 1988; KADLEC e KNIGHT, 1996).

Os sistemas de leitos cultivados destacam-se pela adequação de fatores físicos, químicos e biológicos que atuam na remoção de organismos patogênicos. Os fatores físicos abrangem a filtração, exposição aos raios ultravioletas, temperatura e sedimentação. Os fatores químicos abrangem oxidação, pH, exposição aos biocidas excretados pelas raízes de algumas plantas e adsorção. Os biológicos compreendem predação, competição, ataque por bactérias e vírus, além de morte natural (SEZERINO et al. 2004).

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 microorganismos nas regiões adjacentes ao sistema radicular.

6.6. – Comparativo da eficiência entre os períodos pré e pós-plantio.

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 5

mostra as diferentes taxas de eficiência alcançada pelo leito em cada um dos períodos.

Tabela 5: Eficiência do leito cultivado

Parâmetro	Eficiência pré-plantio (%)	Eficiência pós-plantio (%)	Eficiência global (%)
Temperatura	2,5	5,25	4,27
Turbidez	47,84	78,17	63,0
pH	2,45	5,83	4,27
NH ₃	2,18	37,95	21,69
NO ₃ ⁻	12,62	53,18	31,05
Fósforo total	13,93	25,56	20,27
DBO	15,76	66,15	45,99
DQO	21,59	36,50	29,72
Col. Termo	29,68	60,72	44,01

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

7. Conclusões

O leito cultivado mostrou baixo índice de regeneração vegetal, no entanto uma pequena manutenção englobando a retirada da matéria vegetal morta e o replantio de novas mudas mudou este panorama, no qual o desenvolvimento do vegetal foi notório.

Houve decréscimo da temperatura na passagem do efluente pelo leito em todas as amostras, o que demonstra a influência do meio externo.

A eficiência do leito na diminuição da turbidez aumentou no decorrer dos estudos, isso mostra a importância do nível de desenvolvimento microbiano para controle desse parâmetro.

O pH do esgoto afluente mostrou-se com uma tendência alcalina, que foi corrigida para faixas mais neutras pelo sistema, isso mostra uma característica tampão do mesmo.

A quantidade média de nitrato encontrado no esgoto de entrada (160,50 mg/L) indica alto grau de oxidação do efluente, isso deve ocorrer em virtude da baixa vazão gerada pelo prédio, ocasionando um TRH elevado pelas etapas anteriores do sistema.

O processo de plantio mostrou-se fundamental para melhoria na eficiência média do leito para amônia e nitrato, pois antes de tal ação seus valores eram de 2,18% e 12,62% e depois passaram a 37,95% e 53,18%, respectivamente.

Para fósforo o leito cultivado também apresentou aumento na eficiência nos períodos pré e pós-plantio (13,93% e 25,56% respectivamente), todavia esse perfil foi temporário e algumas semanas depois os resultados voltaram a ser diminuídos, sendo em alguns momentos negativos.

Para DQO e DBO novamente o processo de replantio de mudas interferiu nos resultados que eram inicialmente de 21,59% e 15,76% e passaram para 36,50% e 66,15% para os respectivos parâmetros, os resultados mostram também a importância do aumento de O_2 para redução da DBO, pois sua eficiência foi aumentada em mais de 300%.

Os resultados amostrados para coliformes termotolerante ficaram abaixo dos reportados pela literatura, isso provavelmente ocorreu devido ao reduzido TRH (1,27 dias) e pela baixa densidade radicular do leito.

Houve melhora em todos os parâmetros adotados neste estudo após o processo de plantio executado no leito cultivado, isso demonstra a importância da macrófita na melhoria dos resultados.

8. Referências Bibliográficas

ABU QDAIS, H.A. ; HAMODA, M.F. **Enhancement of carbon and nitrogen transformations during composting of municipal solid waste**. Journal of Environmental Science and Health Part A--Toxic/Hazardous Substance e Environmental Engineering, v. 39, n. 2, p. 409-420, 2004.

ANDRADE NETO, C.O. **Sistemas Simples para Tratamento de Esgotos Sanitários – Experiência Brasileira**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 301p, 1997.

ANDRADE NETO, C.O.; CAMPOS, J.R. **Tratamento de esgoto sanitário por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, p.1-28, 1999.

APHA. AWWA. WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 15 ed. Washington, D.C.: American Public Health Association. American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, 1134p, 1995.

ASANO, T.; **Wastewater Reclamation and Reuse, Water Quality Management Library**, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, PA v.10, 1998.

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, Florida. 3-8, 632p. 1993.

ASANO, T.; MAEDA, M.; TAKAKI, M. **Wastewater reclamation and reuse in Japan: overview and implementation examples**. Water Science. Technology, v. 34, n. 11, p. 219–26, 1996.

ASANO, T. et al. **Water reuse, issues, technologies, and applications**. 1.Ed. New York: McGraw Hill, 1570p, 2007.

ASLAM, S., CAKICI, H. **Biological denitrification of drinking water in a slow sand filter**. Journal of Hazardous Materials, v.148, p.253-58, 2007.

BOLLER, M., TSCHUI, M., GUJER, W., **“Effects of transient nutrient concentrations in tertiary biofilm reactors”**, Water Science and Tecnology, v.36, n.1, p. 101-109, 1997.

BOLTON, R.L.; KLEIN, L. ; "**Sewage Treatment, Basic Principles and Trends**", Ann Arbor Science, Michigan, EUA, 1973.

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

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Política Nacional de Recursos Hídricos**: Legislação. Brasília, 54 p., 2001.

BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P.C.S. **Conceito de Reuso de Água**. In: **Reuso de Água**. São Paulo: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.

BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P.C.S. **Conceito de reúso de água**. In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. **Reúso de água**. São Paulo: Universidade de São Paulo/Faculdade de Saúde Pública: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, cap. 2, p. 21-36, 2001.

BUSATO, R. **Desempenho de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente como tratamento de efluente de reator UASB: estudo de caso da ETE Imbituva**. Curitiba, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, 237 p., 2004.

CAMARGO, S.A.R.; NOUR, E.A.A. Tratamento de esgoto sanitário por filtro anaeróbio utilizando o bambu como meio suporte: partida do sistema. In: **IX SIMPOSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, Porto Seguro, BA, Brasil. Anais eletrônicos, 2000.

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., 2000, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ABES, 2000. CD Rom.

CHAGAS, W.F. **Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da ilha do governador e da Penha no estado do Rio de Janeiro**. [Mestrado] Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública; 89 p. 2000.

CHERNICHARO, C. A L. **Pós tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Segrac: Belo Horizonte. p. 171 – 200, 2001.

CHIANG, C. F.; DAGUE, R. R. **Effects of reactor configuration and biomans activity on performance of upflow static media anaerobic reactors.** Water Environment Research, v. 64, n.2, p. 12-19. 1992.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº. 20 de 18 de junho de 1986. **Classificação de corpos d'água.** Relator: Deni L. Schwartz. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 23 jan. 1990.

COURACCI FILHO, B.; CHERNICHARO, C.A.L.; ANDRADE NETO, C.O.; NOUR, E.A. **Bases conceituais da disposição controlada de águas residuárias no solo.** In: Campos, J.R. (ed.) Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 1999. 435p.

CROOK, J.; SARAMPALLI, R.Y.; **Water Reclamation and Reuse Criteria in the US,** Water Science Technology. v.33, n.10, p. 451- 62, 1996.

CROOK, James. Critérios de qualidade da água para reuso. **Revista DAE Departamento de Águas e Esgotos SABESP,** São Paulo, v. 53, n. 174, p. 10-18. 1993.

DHODAPKAR, R.S.; Pophali, G.R.; Nandy, T.; Devotta, T. Exploitation results of seven RO plants for recovery and reuse. **Desalination.** v.217, 291-300. 2007.

DRIVER, C.H. et al. **Assesment of effectiveness and effects of land disposal methodologies of water management.** Washington: Department of the Army Corps of Engineers, 1972.

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, 35, (5), 95–102, 1997.

FINK, D.R.; SANTOS, H.F. **A legislação de reúso de água.** In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. **Reúso de água.** São Paulo: Manole, p. 261–290. 2003.

GREENWAY, M.; WOOLLEY, A. **Constructed wetlands in Queensland: Performance efficiency and nutrient bioaccumulation.** Ecological Engineering, 12, 39- 55, 1999.

HAANDEL, A.V.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos - um manual para regiões de clima quente.** Campina Grande: Guerreiro e Catunda, 199 p. 1994.

HEGEMANN, W. "**Natural wastewater treatment systems in Germany - Constructed wetlands and lagoons**", Anais: Seminário Internacional Tendências no Tratamento Simplificado de Águas Residuárias Domésticas e Industriais, Belo Horizonte, p.81-105, 1996.

HESPANHOL, I., 2001. Potencial de Reuso de Água no Brasil - Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga De Aquíferos. **III Encuentro de las Águas**, 26 October 2001, December 2002 <http://www.aguabolivia.org/situacionaguaX/IIIEncAguas/contenido/trabajos_verde/TC-158.htm> . 2002

HUSSEIN, S.; Aziz, H.A.; Isa, M. H.; Adlan, N.; Asaari, F.A.H., Phisico-chemical method for ammonia removal from synthetic wastewater using limestone and GAC in batch and column studies. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 874-880. 2006.

INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION - **Constructed Wetlands for Pollution Control – Processes, Performance, Design and Operation**. Scientific and Technical Report N° 8. IWA Specialist Group on Use of Macrophytes in Water Pollution Control. IWA Publishing, 2000.

JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1995.

KADLEC, R.H.; KNIGHT R. L. **Treatment Wetlands**. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, 1996.

MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. **Reúso de água**. São Paulo: Universidade de São Paulo/Faculdade de Saúde Pública: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. cap. 3, p. 37-95. 2003.

MANIOS, T., STENTIFORD, E. I., MILLNER, P. **The removal of Chemical Oxygen Demand from primary-treated domestic wastewater in subsurface-flow reed beds using different substrates**. Water Environment Research, 75 (4), 336 – 341, 2003.

MANNARINO, C. F. **Uso de Wetland Sub-Superficial no Tratamento de Efluente de Estação de Tratamento de Chorume Por Lodos Ativados**. Dissertação de Mestrado: Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental – UERJ, Rio de Janeiro, 91 p. 2003.

MARQUES, D. L. L. M., **Controle de metais e elevação de pH por banhado (wetlands) construídos sem fonte externa de matéria orgânica**. Anais do 19º Congresso Brasileiro de Engenharia sanitária e ambiental, Foz do Iguaçu, Pr, 1997.

MENDONÇA, P.A.O. **Reuso de Águas em Edificações Públicas - O Caso da Escola Politécnica da UFBA**. Dissertação, Mestrado Profissionalizante em Gestão Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Ba, 171p, 2004.

MATOS, A.T. **Tratamento e destinação final de resíduos gerados no beneficiamento de frutos do cafeeiro**. In: ZAMBOLIM, L. (ed.). Produção integrada de café. Viçosa: UFV; DFP, p.647-708, 2003.

MEDEIROS, G.M.S. **Utilização de leitos cultivados com *Typha sp* para tratamento de efluente domiciliar**. Trabalho de Conclusão de Curso, Apresentado à Universidade de Taubaté, 72 p. 2009.

MERZ, S. K. **Guidelines for Using Free Water Surface Constructed Wetlands to Treat Municipal Sewage**. Department of Natural Resources, Queensland, Australy, 2000.

METCALF e EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 3 ed., Metcalf e Eddy Inc. 1334 p. 1991

MILLER, G.W. Integrated Concepts in Water Reuse: Managing Global Water Needs. **Desalination**, v.187, n.1, p.65–75. 2006.

MITSCH, W. J.; HORNE, A. J.; NAIRN, R. W. **Nitrogen and phosphorus retention in wetlands – ecological approaches to solving excess nutrient problems**. Ecological Engineering, 14, p. 1 – 7, 2000.

MORELLI, E.B. **Reúso de água na lavagem de veículos**. Dissertação de Mestrado, apresentada à Escola Politécnica da USP, 92 p., 2005.

NUNES, M.M.C. **Estudo do processo de desnitrificação em filtros biológicos de fluxo ascendente**. Dissertação de Mestrado, apresentada ao Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar da Universidade do Porto, 138p., 1998.

OENNING JUNIOR, A.; PAWLOWSKY, U. Avaliação de tecnologias avançadas para o reúso de água em indústria metal-mecânica. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p.31-8. 2007.

OLIJNYK, D. P. **Avaliação da nitrificação e desnitrificação de esgoto doméstico empregando filtros plantados com macrófitas (wetlands) de fluxos vertical e horizontal – sistemas híbridos.** Florianópolis, Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 112f, 2008

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. Fascículo água: **A desinfecção da água.** Brasília: OPAS, 1999.

PAGANINI, W.S. **Disposição de esgotos no solo: escoamento à superfície.** São Paulo: Fundo Editorial da AESABESP, 1997.

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 Junior, A. **Introdução ao Reuso de águas.** In: MANCUSO, P.C.S.; dos SANTOS, H.F. Reuso de águas. São Paulo: Manole. p.6, 2003.

POSTEL, S. In: MANCUSO, P. C.S.; SANTOS, H.F. **A escassez e o reuso de água em âmbito mundial .** São Paulo: Manole, 12 p. 2003.

PRIDE, R. E.; NOHRSTEDT, J. S.; BENEFIELD, L. D. **Utilization of created wetlands to upgrade small municipal wastewater treatment systems.** Water, Air, and Soil Pollution, 50, 371 – 385, 1990.

REED, S, C.; CRITES, R. W.; MIDDLEBROOKS, E. J. **Natural systems for management and treatment.** New York: McGraw-Hill, Inc. 435p. 1995.

SAHA N.K.; Balakrishnan M.; Batra V.S. Improving industrial water use: case study for an Indian distillery, **Resource, Conservation e Recycling**, v.43, p.163-174. 2005

SALATI, E. **Método fitopedológico de despoluição de águas.** São Paulo: Fundação Salim Farah Maluf, 37p. 1984.

SEZERINO, P. H. “Wetlands como polimento de efluentes de lagoas de estabilização de dejetos de suínos – início de operação”. Proceedings: **VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES**, Vitória-ES/Brasil, 1 a 5 de set. de 2002.

SOLANO, M.L.; SORIANO, P.; CIRIA, M.P. **Constructed wetlands as a sustainable solution for wastewater treatment in small villages**. Biosystems Engineering, 87, (1), 109-118, 2004.

STACKELBERG, P.E.; GIBBS J.; FURLONG E.T.; MEYER M.T.; ZAUGG S.D.; LIPPINCOTT R.L. **Efficiency of conventional drinking-water-treatment processes in removal of pharmaceuticals and other organic compounds**. Science Total Environment, v.377, p.255-272, 2007.

TAYLOR, J. **The estimation of numbers of bacteria tenfold dilution series**. J. appl. Bact., v.25, p.54, 1962.

THAME, A.C.M. **Água : A eminência da escassez**. São Paulo : Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras do Estado de São Paulo, 12 p. 2001.

TANNER, C. C.; KADLEC, R. H.; GIBBS, M. M.; SUKIAS, J. P.S.; NGUYEN, M. L. **Nitrogen processing gradients in subsurface-flow treatment wetlands - influence of wastewater characteristics**. Ecological Engineering, 18, 499 – 520, 2002.

TONETTI, Adriano Luiz et al. Organic matter and total coliform removal and nitrification in the treatment of domestic wastewater by sand filter. **Engenharia Sanitária e Ambiental** [online]. v. 10, n. 3, p. 209-218. ISSN 1413-4152. 2005.

TONIATO, J. V. **Avaliação de um Wetland construído no tratamento de efluentes sépticos: estudo de caso Ilha Grande, Rio de Janeiro, Brasil**. Rio de Janeiro, 2005

TRIPHATI, B. D. e UPADHYAY, A. R. **Dairy effluent polishing by aquatic macrophytes**. Water, Air, and Soil Pollution, 143, p. 377 – 385, 2003.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, USEPA. Manual: **Constructed wetlands treatment of municipal wastewater**. Cincinnati, Ohio: Usepa, Office of Research and Development, 2000. (EPA/625/R-99/010). Disponível em: http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/Design_Manual2000.pdf. Acesso em: 27/08/2009

VALENTIN, M. A. A. **Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado**, Campinas: FEAGRI, UNICAMP, 1998, Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, 113 p. 1999.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. DESA - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte - Universidade Federal de Minas Gerais, v. 1(3), p.92-99. 2005.

WOLVERTON, B. C. **Aquatic plant / microbial filters for treating septic tank effluent, Chattanooga**, International Conference on Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, p. 173-177, 1988.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards**. Of a WHO meeting of experts. Technical report series N° 517. Genebra, 1973.

YANG H, ZEHNDER A. "China's regional water scarcity and implications for grain supply and trade" **Environment and Planning**. v. 33, n.1, p.79 – 95, 2001.

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: Wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2008.