

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**EFICIÊNCIA DE LEITO DE MACRÓFITAS COMO UNIDADE
DE POLIMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE
ADITIVOS PARA RAÇÃO.**

ENG. CASSIANO DE OLIVEIRA BARRETO

CAMPINAS
AGOSTO DE 2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**EFICIÊNCIA DE LEITO DE MACRÓFITAS COMO UNIDADE
DE POLIMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE
ADITIVOS PARA RAÇÃO.**

Dissertação de Mestrado submetida à banca examinadora
para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola,
na área de concentração em Água e Solos.

**ENG. CASSIANO DE OLIVEIRA BARRETO
ORIENTADOR: PROF. DR. DENIS MIGUEL ROSTON**

CAMPINAS
AGOSTO DE 2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

B275e Barreto, Cassiano de Oliveira
Eficiência de leito de macrófitas como unidade de
polimento de efluente de industria de aditivos para ração
/ Cassiano de Oliveira Barreto. --Campinas, SP: [s.n.],
2005.

Orientador: Denis Miguel Roston
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Água- Reutilização. 2. Resíduos industriais. 3.
Agroindústria. I. Roston, Denis Miguel. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Agrícola. III. Título.

Titulo em Inglês: Efficiency of a constructed wetland use as an unit of final
effluent poliment at an animal food industry

Palavras-chave em Inglês: Effluent treatment, Reuse, Water quality

Área de concentração: Água e Solos

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Marco Roberto Pires, José Euclides Shipp Paterniani,

Data da defesa: 31/08/2005

Epígrafe

“Estamos nos construindo na luta para florescer amanhã como uma nova civilização, mestiça e tropical, orgulhosa de si mesma. Mais alegre porque mais sofrida. Melhor, porque incorpora em si humanidades. Mais generosa, porque aberta à convivência com todas as raças e todas as culturas e porque assentadas na mais bela e luminosa província.”

Darcy Ribeiro

Dedicatória

À Laércio Francisco dos Santos, reconhecidamente um dos maiores advogados de São Paulo, meu grande amigo e avô.

Tua conduta ilibada na época em que estive no Ministério da Justiça ao lado do ministro e tuas realizações no Estado de São Paulo me ensinaram valores como a honestidade, a paciência, o trabalho árduo e a perseverança.

Concluir esta dissertação foi uma tarefa dura, pois tive de conciliar o trabalho com a pós-graduação ao mesmo tempo, mas procurei me esforçar ao máximo pois quero dedicar este título de Mestre a você que tanto fez pela educação de todos nós seus netos e por outras pessoas as quais você silenciosamente custeou os estudos.

Sinto muito sua ausência, desde sua morte em Março/04, mas tenho certeza que seu espírito estará sempre ao meu lado me fortalecendo e me inspirando à praticar o bem.

Saudades de seu amigo, aluno e neto.

Agradecimentos

À minha mãe Wanda Maria de Paula Santos, minha irmã Fernanda de Oliveira Barreto e minha avó Wanda de Paula Santos, pelo amor, carinho e incentivos durante essa longa caminhada.

Aos meus grandes amigos Breno César Ferreira Leite, Rodrigo Yoshitomo Munemasa Ito, Tiago Silva Savietto e Leonardo Crescêncio Erthal, que sempre estão presentes em TODOS os momentos importantes com seu carinho e amizade, divido com vocês mais um passo em minha vida acadêmica e profissional.

À minha esposa Sharin Pamela A. Sykora Rossle, pelo constante incentivo e apoio neste tempo todo.

À Marcelo Pohlmann por me possibilitar o ingresso na pós-graduação e continuar trabalhando.

Ao professor Dr. Denis Miguel Roston, por acreditar em meu potencial para a realização deste trabalho.

Também gostaria de agradecer ao Sr. Ivanor Caleffi, Sr. Evaldo Miranda e ao Sr. Dárcio Carneiro todos da SPF do Brasil Ltda, indústria que me apoiou no fornecimento de dados para a realização deste trabalho.

Não podia esquecer o Dr. Túlio Assunção Pires Ribeiro, que me ensinou a ser engenheiro.

Sumário

Lista de figuras	ix
Lista de Quadros	x
Resumo	xi
Abstract	xii
I – Introdução	1
II – Objetivo	3
III – Revisão Bibliográfica	5
3.1 – Efluentes líquidos industriais	5
3.2 – Sistema de tratamento de efluentes líquidos	6
3.2.1- Tratamento preliminar	6
3.2.2- Tratamento secundário (<i>biológico</i>)	7
3.2.2.1- Lagoa aerada mistura completa	7
3.2.2.2- Lagoa facultativa aerada	9
3.2.2.3- Lagoa facultativa	10
3.2.3- Polimento	11
3.2.3.1- Leitões de macrófitas	11
3.2.3.2- Plantas utilizadas nos sistemas de tratamento	15
3.2.3.3- Classificação das macrófitas	16
3.2.3.4. Transferência do oxigênio	17
3.2.3.5- Seleção do gênero	19
3.2.3.6- <i>Typha</i> spp. (Taboa)	20
3.3 – Reutilização de efluentes líquidos tratados	22
3.3.1- Consumo industrial de água	22
3.3.2- Escolha do tipo de tratamento de efluentes líquidos	23
3.3.3- Qualidade da água para consumo industrial	23
3.3.4- Reúso	24
IV – Material e Métodos	27
4.1- Local do Experimento	27

4.2- Fluxograma do sistema de tratamento estudado	28
4.3- Leito de macrófitas	29
4.4- Parâmetros analisados	30
V- Resultados e discussões	31
5.1- Parâmetros de acompanhamento contínuo	31
5.1.1- DBO, DQO, oleos e graxas	31
5.1.2- Sólidos totais	38
5.2- Parâmetros complementares	40
5.2.1- Sólidos suspensos totais	40
5.2.2- Sólidos suspensos fixos	41
5.2.3- Sólidos suspensos voláteis	42
5.2.4- Nitrogênio total Kjeldal (NTK)	43
5.2.5- Fosfato total	44
5.2.5- Coliformes Totais e Coliformes Fecais	45
5.3- Possibilidades de reúso do efluente final	46
5.4- Sugestões de alterações e melhorias para o leito de macrófitas	46
VI – Conclusões	49
VII – Bibliografia	51

Lista de Figuras

Figura 1 - Tratamento primário, peneira estática	6
Figura 2 - Esquema de lagoa aerada	8
Figura 3 - Lagoa aerada mistura completa	8
Figura 4 - Esquema de lagoa facultativa aerada	9
Figura 5 - Esquema da lagoa facultativa	10
Figura 6 - Lagoa facultativa	11
Figura 7 - Tipo de fluxo para leitos de macrófitas	13
Figura 8 - Leito de macrófitas	14
Figura 9 - Detalhe da rizosfera e do transporte de oxigênio para as raízes	19
Figura 10 - <u>Typha spp.</u> (Taboa)	21
Figura 11 - Vista aérea de ETE em estudo	27
Figura 12 – Fluxograma da ETE	28
Figura 13 – Esquema do leito de macrófitas estudado	29
Figura 14 - Cargas de entrada e saída de DBO (mg/L)	32
Figura 15 - Porcentagem de remoção de DBO	32
Figura 16 - Remoção de DQO	33
Figura 17 - Eficiência de remoção de DQO	34
Figura 18 - Remoção de óleos e graxas	35
Figura 19 - Eficiência de remoção de óleos e graxas	36
Figura 20 - Remoção de sólidos totais	39
Figura 21 - Eficiência de remoção de sólidos totais	39

Lista de Quadros

Quadro 1 - Critérios de projeto para os leitos cultivados	15
Quadro 2 - Algumas espécies de macrófitas testadas para tratamento de águas residuárias	16
Quadro 3 - Condições de desenvolvimento de algumas macrófitas emergentes	17
Quadro 4 - Concentração de DBO	31
Quadro 5 – Concentração de DQO	33
Quadro 6 – Concentração de óleos e graxas	36
Quadro 7 – Concentração de sólidos totais	40
Quadro 8 – Concentração de sólidos suspensos totais	41
Quadro 9 – Concentração de sólidos suspensos fixos	41
Quadro 10 – Concentração de sólidos suspensos voláteis	42
Quadro 11 – Concentração de nitrogênio total kjeldal	43
Quadro 12 – Concentração de fosfato total	44
Quadro 13 – Concentração de coliformes totais e fecais	45

Resumo

Atualmente a escassez da água faz com cada vez mais se torne necessário economizar este recurso. Muitas indústrias estão procurando reutilizar o efluente de seus sistemas de tratamento, dentre os processos de tratamento terciário o leito de macrófitas surge como alternativa para que se possa reutilizar o efluente tratado em diferentes demandas dentro da própria indústria.

Este trabalho buscou avaliar os resultados obtidos em um sistema com um leito de macrófitas utilizado em uma agroindústria instalada na região de Descalvado-SP. As avaliações foram baseadas em resultados de análises físico-químicas do efluente final.

Notou-se que o monitoramento realizado precisa ser melhorado com os parâmetros de análise de concentração de nutrientes sendo realizados numa frequência maior.

As características do afluente do leito indicaram que o tratamento secundário precisa ser complementado para que o leito possa funcionar efetivamente como uma unidade de polimento.

O efluente final gerado possui cargas de DBO, DQO e óleos e graxas em níveis tais que a única reutilização possível foi na irrigação de áreas verdes dentro da indústria.

Abstract

Nowadays all people in all countries have to economize the water resources. Industries are studding the viability to reuse effluent of the wastewater systems, one of the tertiary processes are the constructed wetlands, it is one of the natural alternatives to treat and prepare the effluent to reuse at the industry.

This work was based on the results of a monitoration of a constructed wetland installed as a poliment unit of an industrial wastewater system in Descalvado-SP.

Observing the results of the BOD was possible to conclude that the unit is working as part of the biological treatment.

According to the characteristics of the final effluent the only activity of reuse possible was the irrigation of the gardens at the industrial area.

The industry has to improve its secondary treatment and measure all the parameters at less once in a month.

I- Introdução:

O grande desafio da humanidade no século XXI é promover o desenvolvimento sustentável de sua sociedade, ou seja, utilizar de maneira racional os recursos naturais disponíveis. Dentre estes recursos a água se destaca como o mais importante pois é um recurso essencial à vida no planeta.

No Brasil, seja devido à grandeza dos rios, seja pela cultura de “fartura de riquezas e recursos naturais” a sociedade utiliza a água de maneira perdulária. O crescimento desordenado das cidades e a idéia de inesgotabilidade da água, contribuíram de maneira decisiva com a degradação da maioria dos rios e córregos brasileiros.

O resultado dessa situação faz com que sejam exigidas ações que forcem a retomada de qualidade das águas. Nos últimos anos a legislação vem sendo aprimorada, incentivando o controle, monitoramento e a instalação de sistemas de tratamento de esgotos domésticos e efluentes líquidos industriais, para que estes sejam dispostos sem alterar as características de qualidade dos corpos líquidos da região (rios e córregos).

O grande sinalizador destes novos tempos de consciência da escassez e importância das águas, é a Lei 9.605 de 12/Fev/1998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas à condutas lesivas ao meio ambiente. Ou seja, desde a regulamentação desta lei poluir as águas pode provocar multas elevadas (até R\$ 50.000.000,00) ou a prisão do responsável (até quatro anos de detenção).

As indústrias se tornaram alvo de maior assiduidade de fiscalização por parte dos órgãos ambientais e a escassez de água faz com que muitas empresas se preocupem em tratar o efluente líquido de maneira que possam reutilizá-lo, proporcionando uma economia do recurso natural e dando uma utilização maior ao efluente que tem um custo para ser tratado e era simplesmente lançado “in natura” de volta ao rio.

Especificamente no Estado de São Paulo, que tem uma baixa disponibilidade hídrica, muitas indústrias vêm buscando aprimorar seus sistemas de tratamento para conseguir reutilizar o efluente tratado.

As indústrias trabalham em diferentes enfoques para a economia de água:

- Minimização dos desperdícios;
- Racionalização do gerenciamento da utilização da água;

- Otimização dos recursos disponíveis (poços de captação, rios etc);
- Tratamento para a reutilização;

Nas regiões onde a escassez de água para o abastecimento público já é uma realidade com a qual os governantes e a comunidade têm de conviver, já está se desenvolvendo um senso comum sobre a necessidade de economia deste recurso e começam a surgir medidas de incentivos ao tratamento e reúso do efluente gerado:

- Cobrança pela captação de água;
- Cobrança pelo lançamento de efluentes de acordo com a concentração de poluentes presentes;
- Imagem da indústria perante consumidores e comunidade local;
- Cultura de preservação do meio ambiente presente nas empresas multinacionais;

Várias tecnologias podem ser utilizadas para atingir este objetivo, dentre os processos conhecidos os chamados “naturais” merecem destaque, por terem o custo de manutenção reduzido tornam-se sistemas interessantes para a realidade brasileira.

Inspirado nos resultados obtidos nos trabalhos em escala piloto desenvolvidos na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, projetou-se um leito de macrófitas para o polimento do efluente de uma agroindústria.

Este trabalho é o resultado do acompanhamento de análises de monitoramento do sistema de tratamento de efluentes industriais.

II- Objetivo

Este trabalho foi realizado em um leito de macrófitas instalado como unidade de tratamento terciário de um sistema de tratamento de efluentes líquidos de uma agroindústria pertencente ao setor de aromatizantes e palatabilizantes para rações de animais de pequeno porte. As metas específicas foram:

- Analisar a eficiência no polimento do efluente do tratamento biológico de acordo com os parâmetros DBO, DQO, Óleos e Graxas e Sólidos Totais;
- Apresentar propostas de melhorias construtivas e operacionais baseadas nos resultados encontrados e situações observadas ao longo de todo o período de acompanhamento do sistema;
- Avaliar as possibilidades de reúso do efluente final.

III- Revisão Bibliográfica

3.1 – Efluentes líquidos industriais

A composição dos efluentes líquidos industriais se refere às quantidades de compostos químicos, físicos e biológicos presentes no efluente à ser tratado. Assim o efluente industrial muda conforme o ramo da indústria (*alimentícia, metalúrgica, química etc*) e de acordo com o processo produtivo adotado.

Diferentemente o esgoto sanitário, que salvo pequenas diferenças de concentrações, pode-se dizer que possui as mesmas características em todas as regiões do planeta.

Para elaborar um sistema de tratamento de efluentes líquidos industriais é necessário conhecer as características do efluente gerado no processo produtivo. Dependendo do setor industrial já se sabe que alguns parâmetros não estarão presentes, por exemplo, num efluente de um frigorífico não é provável a presença de metais pesados.

As características físico-químicas de um efluente determinam quais os processos mais adequados para seu tratamento. Estas características podem ser determinadas através de coletas de dados sobre todo o processo produtivo e coletas de amostras de efluentes para análises em laboratório.

Cada um dos parâmetros físico-químicos possui um limite imposto por lei para que possa ser disposto em corpos receptores sem causar danos às características deste.

Em São Paulo a Lei 997 de 1976 dispõe sobre a classificação dos rios e córregos de acordo com seus parâmetros físico-químicos, bem como apresenta os limites máximos de concentração de cada parâmetro para o lançamento de efluentes líquidos nos corpos receptores.

3.2 – Sistema de tratamento de efluentes líquidos

Um sistema de tratamento de efluentes é constituído de diferentes etapas, cada uma delas responsável pelo tratamento de uma parte específica do efluente. Usualmente divide-se as etapas em tratamento preliminar (*remoção física e adequação do pH*), tratamento secundário (*tratamento biológico dos componentes do efluente*) e polimento final (*remoção de nutrientes*).

A seguir apresenta-se a revisão das unidades que formam o sistema completo de tratamento do resíduo líquido da indústria estudada.

3.2.1- Tratamento Preliminar

No tratamento preliminar se realiza a remoção física de partículas sólidas grosseiras através de grades, peneiras ou unidades que separem o efluente líquido dos sólidos em suspensão, decantadores, caixas de areia.

O tratamento preliminar tem como objetivo preparar o efluente para o tratamento secundário (*biológico*), para tanto além de remover os sólidos em suspensão, é necessário corrigir o pH para valores próximos da neutralidade.

Portanto no tratamento preliminar geralmente uma unidade de remoção de sólidos e outra unidade de correção do pH.



Figura 1: Tratamento preliminar, peneira estática

3.2.2- Tratamento secundário (biológico)

Nesta etapa do sistema de tratamento a remoção de contaminantes se dá através de processos biológicos. É utilizado para a remoção de substâncias orgânicas, que são degradadas pelos microrganismos e convertidas em biomassa e gases.

A grande maioria dos efluentes pode ser tratado por processos biológicos, cabendo ao engenheiro projetista selecionar dentre os sistemas existentes, o mais adequado ao efluente.

Dentre os sistemas biológicos existentes, pode-se destacar as lagoas de estabilização por serem um sistema natural que tem grande eficiência de remoção de poluentes, devido à características climáticas do Brasil e além disso seus custos de implantação e manutenção são baixos em comparação com outros sistemas com a mesma finalidade (METCALF & EDDY, 1991).

3.2.2.1- Lagoa Aerada Mistura Completa

É um sistema estritamente aeróbio com uma densidade de potência (W/m^3) tal que, além de garantir o suprimento de oxigênio necessário para o meio, ainda deve proporcionar a turbulência capaz de manter os sólidos em suspensão dispersos no meio líquido sem o acúmulo destes no fundo da lagoa (VON SPERLING, 1996).

O efluente de uma lagoa aerada mistura completa não está apto para descarte direto, devido à alta quantidade de sólidos em suspensão característicos do sistema. Deve-se elaborar o tratamento adequado à estes sólidos (*biomassa*) gerados.

A área requisitada pela lagoa aerada de mistura completa é a menor dentre todos os tipos de lagoas existentes, pois a taxa de aeração elevada deste sistema faz com que o tempo de detenção hidráulico seja menor.

O tratamento aeróbio requer menor tempo de detenção hidráulico pois o metabolismo das bactérias aeróbias é mais acelerado quando comparado com o metabolismos de organismos anaeróbios. No caso de alta taxa de aeração, uma detenção hidráulica em torno de 2 à 4 dias já é o suficiente (VON SPERLING, 1996).

A microbiologia de uma lagoa aerada é similar à microbiologia de um sistema “lodo-ativado” ou outro sistema estritamente aeróbio, porém por ter uma área superficial maior que

dos outros sistemas chamados “compactos”, a lagoa aerada fica mais suscetível à variações climáticas da região (METCALF & EDDY, 1991).

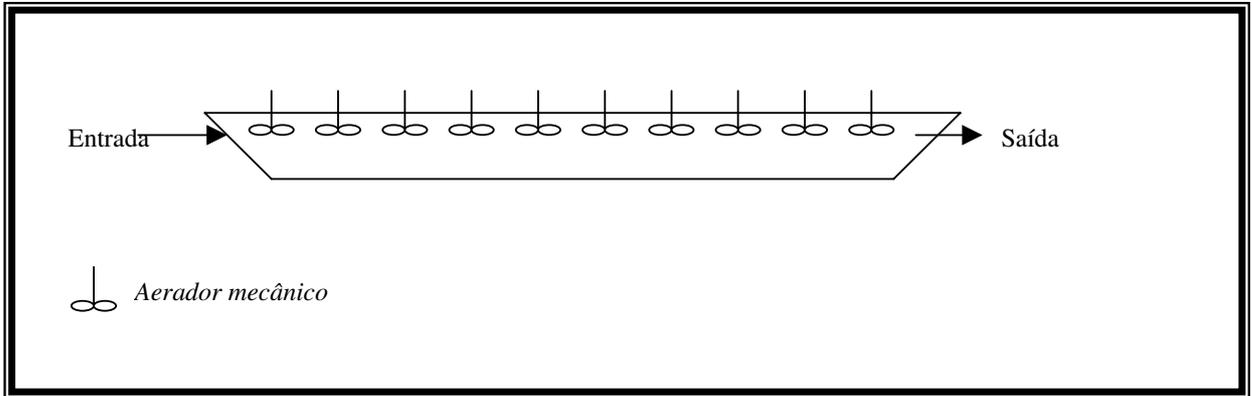


Figura 2: Esquema de lagoa aerada.



Figura 3: Lagoa aerada mistura completa

3.2.2.2- Lagoa Facultativa Aerada

O processo de tratamento predominante é aeróbio, com dimensões menores que das lagoas facultativas convencionais, pois a aeração artificial aumenta a taxa de oxigenação e com isso faz com que o tempo de detenção hidráulico requerido seja menor, implicando em dimensões menores em relação à lagoa facultativa.

A baixa densidade de potência instalada, permite que haja um acúmulo de sólidos no fundo da lagoa. Este lodo (*biomassa*) sofrerá uma decomposição anaeróbia, por se encontrar em uma região onde o oxigênio não está disponível. Boa parte desta biomassa será transformada em gases e micronutrientes estabilizados (VON SPERLING, 1996).

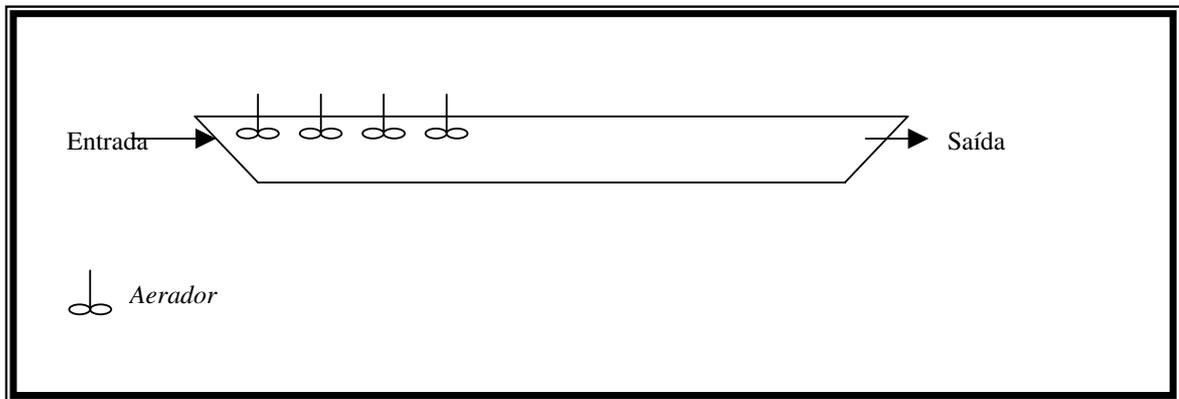


Figura 4: Esquema de lagoa facultativa aerada.

3.2.2.3- Lagoa Facultativa

A forma de tratamento de efluentes líquidos mais simples que existe são as lagoas facultativas de estabilização de efluentes.

Existem algumas variantes que sofisticam o processo, mas a idéia é reter o efluente por determinado período de tempo suficiente para que haja o desenvolvimento de microorganismos que atuem na decomposição do material orgânico e possibilite o descarte deste líquido no corpo receptor com baixo impacto na qualidade de suas águas.

O sistema que não utiliza nenhum tipo de equipamento e apresenta uma boa eficiência são as chamadas lagoas facultativas, que necessitam de um longo tempo de detenção hidráulica.

As lagoas facultativas têm esta denominação pelo fato de estarem divididas em 3 faixas de processo, a camada mais superficial até mais ou menos 10 cm de profundidade é predominantemente aeróbia, devido à movimentação provocada pelos ventos e a conseqüente incorporação de ar. Abaixo de 10 cm e até as proximidades do fundo da lagoa o processo de decomposição é realizado por organismos facultativos, isto é vivem tanto na presença, quanto na ausência de oxigênio. O suprimento de oxigênio é providenciado pela fotossíntese, realizada pelas algas. Daí a importância de área de exposição superficial, para incidência de luz solar que é essencial para que ocorra a fotossíntese. No fundo da lagoa não existe a presença de oxigênio, assim o processo de decomposição é anaeróbio.

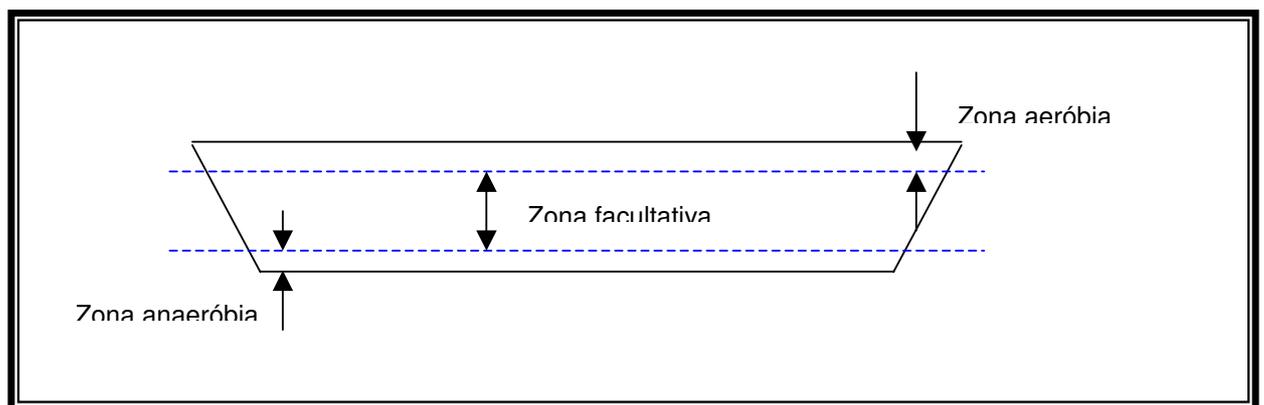


Figura 5: Esquema da lagoa facultativa.



Figura 6: Lagoa facultativa

3.2.3- Polimento

O polimento é o tratamento dos resíduos que permanecem no efluente final de um tratamento secundário. No polimento remove-se o excesso de algas que são produzidas na lagoa facultativa e reduz a DBO remanescente e os nutrientes presentes. Ou seja o polimento tem a finalidade de clarificar o efluente e prepará-lo para o reúso.

Para tal tratamento existem algumas opções e dentre estas destacam-se os leitos de macrófitas, um tratamento natural, sem a utilização de equipamentos que tem um grande potencial de utilização em regiões de clima tropical.

3.2.3.1- Leitos de Macrófitas

Os leitos cultivados são sistemas naturais de tratamento de efluentes líquidos, inspirados nas várzeas.

As várzeas são áreas de solo inundadas por águas superficiais ou subterrâneas onde estão plantas que se alimentam dos nutrientes presentes nesta água.

Os leitos de macrófitas se classificam de acordo com o tipo de fluxo adotado: superficial, vertical ou sub-superficial, conforme pode ser visualizado na figura 7. Para se definir qual o tipo de fluxo que deve ser adotado pelo leito de macrófitas em uma determinada região, deve-se verificar o objetivo do tratamento (*secundário ou terciário*) e as condições locais de topografia, infraestrutura e macrófitas disponíveis.

- a) Fluxo superficial – o líquido flui sobre uma área definida com uma lâmina que geralmente varia de 10 à 30 cm de altura.
- b) Fluxo vertical – sistema muito semelhante à um filtro de vazão vertical, preenchido com material filtrante (brita) operado por batelada e nível d'água abaixo da altura da camada filtrante.
- c) Fluxo sub-superficial – semelhante à um filtro lento horizontal, o meio filtrante é o local onde se forma e desenvolve o biofilme e onde as plantas se apóiam. O nível d'água sempre está abaixo da superfície do meio filtrante, fator que reduz a proliferação de insetos.

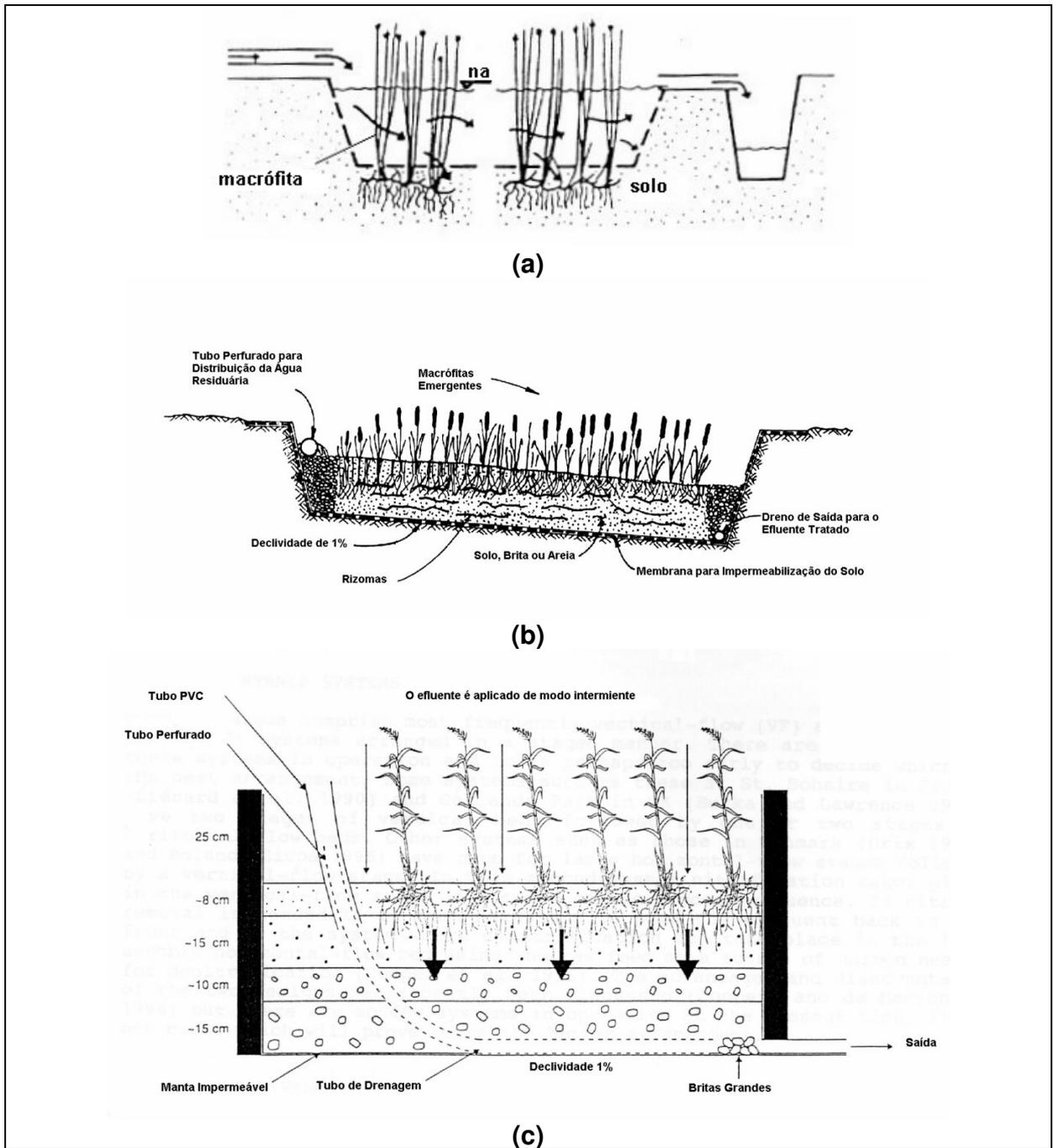


Figura 7: Tipo de fluxo para leitos de macrófitas. (Adaptado de U.S.E.P.A., 1988; VYMAJAL, 1998)

A remoção dos nutrientes se dá através de processos físico-químicos e biológicos, influenciados pelo tipo de planta cultivada, fluxo do efluente no leito de macrófitas, meio suporte (*meio filtrante*) e principalmente, pelas características físico-químicas do efluente que será tratado. O nitrogênio é removido do efluente pelos processos de nitrificação e desnitrificação.

Cada um destes processos tem seu limitador, no caso da nitrificação a disponibilidade de oxigênio é o fator limitante, já na desnitrificação a disponibilidade de carbono é o fator limitante.

Quando o resíduo líquido a ser tratado no leito cultivado possui uma carga de DBO elevada, espera-se uma baixa eficiência de remoção de nutrientes, tendo em vista baixa disponibilidade de oxigênio, limitando o desenvolvimento do processo de nitrificação.

A combinação de diferentes ambientes dentro do leito de macrófitas (*aeróbios, anaeróbios e anóxicos*) contribui para que se possa ter uma melhoria nas remoções de carga orgânica (*DBO*) e de nutrientes melhorando a qualidade do efluente final.

Existe a expectativa de melhoria do grau de mistura e da tratabilidade do resíduo líquido, alterando zonas com plantas e zonas não plantadas (SIMI & MITCHELL, 1999).

A experiência mostra que os leitos cultivados tendem a ter em grande parte de sua profundidade, características anóxicas ou anaeróbias, o que favorece o processo de desnitrificação, pode-se observar no quadro 1 os critérios de projeto adotados para estas unidades de tratamento.

Os leitos são componentes eficientes para o tratamento de efluentes que visam o reúso com custo baixo de manutenção e implantação (REED, 1996)



Figura 8: Leito de macrófitas

Parâmetros	<i>Fluxo Subsuperficial</i>
Tempo de Detenção (dias)	2-7
Altura da coluna d'água (m)	0,1-1,0
Área por vazão (ha/m ³ .d)	0,001-0,007
Razão comprimento : largura do leito	0,25:1 a 5:1
Controle de mosquitos	Não requer
Frequência de colheita (ano)	3-5
DBO máxima (kg/ha.dia)	75
Carga hidráulica (mm ³ /mm ² .d)	2-30

Quadro 1. Critérios de projeto para os leitos cultivados (*Adaptado de WOOD & MCATAMNEY, 1996*)

3.2.3.2- Plantas utilizadas nos sistemas de tratamento

As várzeas naturais são habitadas por diferentes tipos de plantas adaptadas para o crescimento na água e em solos saturados que podem ser utilizadas em sistemas de leitos construídos para o tratamento de efluentes.

Existem vários termos para definir estas plantas devido à ambigüidade nas definições e à complexidade de sua classificação, sendo os termos usuais: hidrófitas, macrófitas aquáticas, hidrófitas vasculares, plantas aquáticas e plantas aquáticas vasculares (GUNTENSPERGEN et al., 1988). De modo geral, o termo *macrófitas* é o utilizado para os sistemas de leitos cultivados por diversos pesquisadores no mundo todo, sendo aqui também utilizado.

3.2.3.3- Classificação das macrófitas

As maiores representantes das macrófitas são as plantas aquáticas vasculares florescentes, porém os musgos e a maioria das algas marinhas também estão incluídas nesta classificação.

As macrófitas podem ocupar extensas áreas e seu desenvolvimento reflete a qualidade da água em que vivem.

As macrófitas são divididas em três categorias:

- a) Flutuantes: podem estar fixadas ou não ao fundo e sua folhagem principal flutua na superfície da água;
- b) Submergentes: crescem sob a água e podem ou não estar fixas por raízes;
- c) Emergentes: sua folhagem principal está em contato com o ar e as suas raízes estão fixadas ao solo.

A distribuição e a presença destes tipos de macrófitas são determinadas pela: concentração dos nutrientes na água, pelo meio suporte onde estão fixadas, profundidade da lâmina d'água, presença ou não de correnteza, índice de turbidez, presença de herbívoros e atividades humanas (APHA, 1995; WOOD & MCATAMNEY, 1996).

Segundo MANIOS et al (2003) a utilização de britas com diâmetros entre 10-15cm ajuda na prevenção à colmatação do meio filtrante mas dificulta o desenvolvimento das macrófitas e apresenta uma menor área de contato para o desenvolvimento de biofilme no meio filtrante.

Várias são as espécies testadas para o uso em processos de tratamento de águas residuárias, sendo apresentadas no quadro 2 as mais usadas e no quadro 3 as condições de desenvolvimento para algumas macrófitas emergentes.

Plantas Emergentes	Plantas Submergentes	Plantas Flutuantes
<u>Scirpus spp.</u>	<u>Elodea nuttallii</u>	<u>Lemna spp.</u>
<u>Phragmites australis</u>	<u>Egeria densa</u>	<u>Spirodela spp.</u>
<u>Typha spp.</u>	<u>Ceratophyllum demersum</u>	<u>Eichhornia crassipes</u>
<u>Canna flaccida</u>	=	<u>Wolffia arrhiza</u>
<u>Eleocharis spp.</u>	=	<u>Azolla caroliniana</u>
<u>Juncus spp.</u>	=	=

Quadro 2. Algumas espécies de macrófitas testadas para tratamento de águas residuárias. (Adaptado de GUNTENSPERGEN et al., 1988).

Nome Científico	Distribuição	Temperatura, °C		Salinidade Máxima (ppm)	Faixa do pH
		<i>Desejável</i>	Germinação das Sementes		
<u>Typha spp.</u>	Em todo mundo	10-30	12-24	30	4-10
<u>Phragmites spp.</u>	Em todo mundo	12-23	10-30	45	2-8
<u>Juncus spp.</u>	Em todo mundo	16-26	-	20	5-7,5
<u>Scirpus spp.</u>	Em todo mundo	16-27	-	20	4-9

Quadro 3. Condições de desenvolvimento de algumas macrófitas emergentes. (Adaptado de U.S.E.P.A., 1988)

De uma forma geral, os benefícios da utilização de macrófitas no tratamento de efluentes podem ser:

- a) Estético: é o primeiro benefício da vegetação em comparação a um filtro de solo ou de pedras na redução de materiais orgânicos e sólidos suspensos;
- b) Controle de odor: um outro benefício é que os leitos de macrófitas, funcionam como um biofiltro retendo o odor;
- c) Tratamento de Efluentes: outra função das plantas e do meio suporte é promover o tratamento aeróbio e anaeróbio do efluente, retirando sólidos suspensos, microrganismos patogênicos, carga orgânica e nutrientes;
- d) Controle de Insetos: a massa superficial (planta e meio suporte) também limita o desenvolvimento de vários insetos, como mosquitos e moscas.

3.2.3.4. Transferência do Oxigênio

O tratamento da água residuária é o resultado das reações físicas, químicas e biológicas que ocorrem nos leitos por causa da presença do meio suporte, das comunidades bacterianas e das plantas (*macrófitas*). Entre estes itens, as bactérias merecem destaque, pois são os

principais protagonistas da degradação da matéria orgânica ainda presente no efluente, através de processos anaeróbios, anóxicos e aeróbios. Como o ambiente dos leitos cultivados é predominantemente anaeróbio, as condições aeróbias e anóxicas somente são conseguidas graças ao fornecimento de oxigênio pelas raízes das plantas.

O transporte do oxigênio para as partes inferiores das plantas serve para suprir a demanda respiratória dos tecidos das raízes e também para oxigenar a rizosfera (*região no contorno das raízes*).

A presença de oxigênio nesta região das raízes cria condições de oxidação, que juntamente com as condições anóxicas aí presentes, estimulam a decomposição aeróbia do material orgânico e o desenvolvimento de bactérias nitrificantes (U.S.E.P.A., 1988; ARMSTRONG et al., 1990; BRIX, 1994).

Portanto além da liberação do oxigênio um outro processo mais importante que ocorre é a simbiose entre as plantas e os microrganismos na rizosfera. Nesta região ocorre a justaposição de uma zona aeróbia com outra anóxica (*contém a presença de nitrato*) envolvidas em uma grande zona anaeróbia (*Figura 5*) têm-se o desenvolvimento de diferentes tipos de bactérias que auxiliam os processos de nitrificação e desnitrificação do líquido.

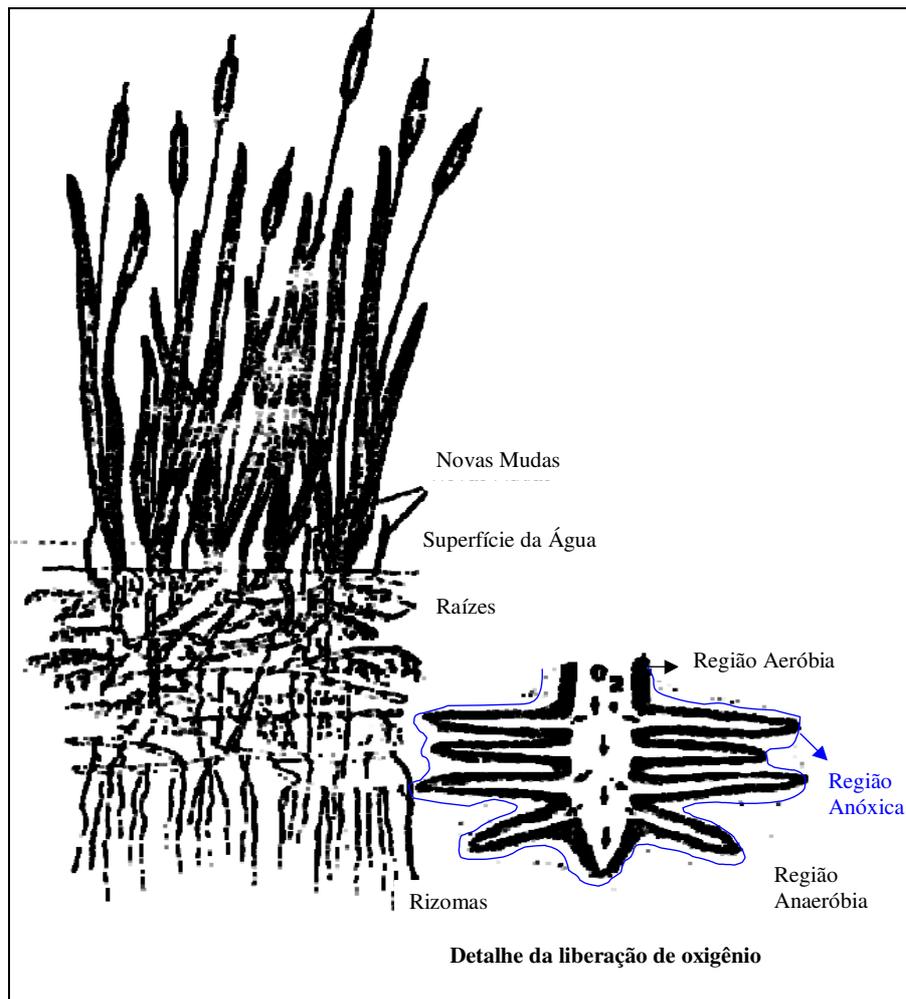


Figura 9. Detalhe da rizosfera e do transporte de oxigênio para as raízes. (Adaptado de GUNTENSPERGEN et al., 1988)

Alguns pesquisadores procuraram medir as perdas radiais de oxigênio para raízes individuais em soluções sem oxigênio porém a não homogeneidade da liberação do oxigênio pelas raízes impossibilita a utilização dos resultados obtidos.

3.2.3.5- Seleção do gênero

Ainda não existe um critério geral para a escolha da planta mais apropriada para a remoção de um elemento específico presente nos efluentes de sistemas secundários de

tratamento, portanto é aconselhável observar as espécies presentes no local e montar um sistema piloto. O monitoramento do desempenho de cada piloto pode-se determinar a planta que melhor realiza o tratamento do efluente. Uma das macrófitas mais comuns e disponíveis no Brasil é a *Typha* spp.

3.2.3.6- *Typha* spp. (Taboa)

Apresenta folhas lineares, com bainha bem desenvolvida e não tendo caule lenhoso. A Typhaceae compreende plantas herbáceas perenes crescendo em brejos e alagadiços, possuem caule com uma porção rizomatosa rastejante e outra ereta que transporta as folhas, sendo estas sésseis (*fixadas diretamente à parte principal-rizoma*), lineares, e quase todas se inserem próximas da base e possuem nervação paralela, como pode ser visualizado nas figuras 9 e 10.

As flores são de sexos separados e reunidas em densas inflorescências cilíndricas muito características, sendo as masculinas acima e as femininas abaixo. Possui fruto minúsculo e seco, sementes com endosperma farináceo e altura variando de 2 a 3 metros. Esta família é monotípica, contendo o único gênero *Typha* que é encontrado em ambos os hemisférios nas regiões temperadas e tropicais (JOLY, 1979; LORENZI, 1982). Na figura 10 pode-se verificar a incidência desta planta nas diferentes regiões do Brasil.

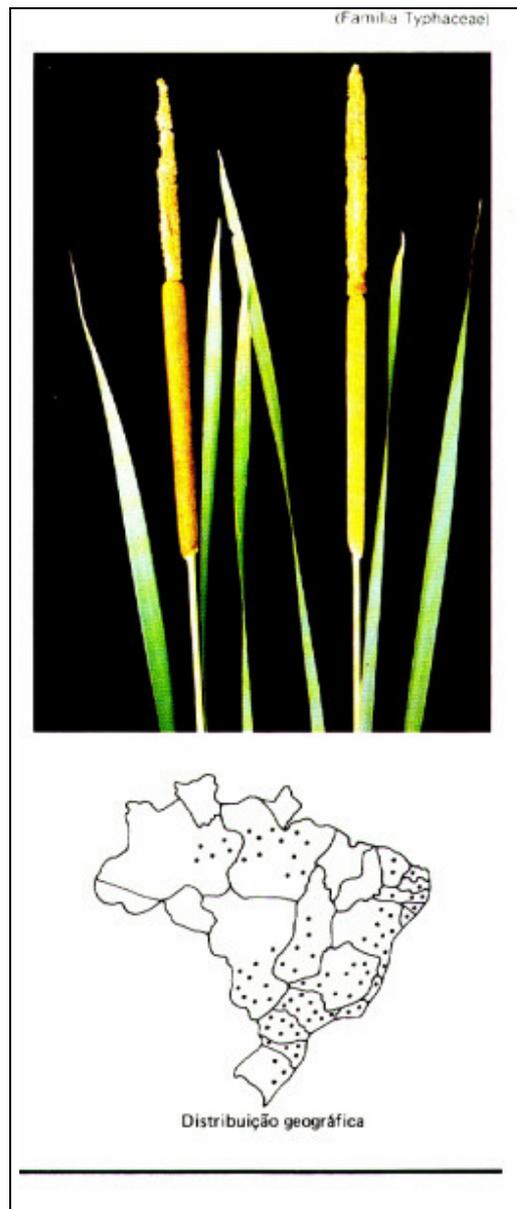


Figura 10. *Typha* spp. (*Taboa*) (LORENZI, 1982)

A *Typha* spp. é uma planta daninha aquática muito freqüente nas margens de lagoas ou represas, canais de drenagem e baixadas pantanosas em geral. É bastante agressiva chegando a produzir 7 mil kg de rizomas por hectare, possuindo um teor de proteínas igual ao do milho e de carboidratos igual ao da batata, além de propriedades medicinais (*adstringente, diurético e emoliente*). (LORENZI, 1982)

É uma planta que tem elevados índices de saturação luminosa e suporta altas temperaturas. Caso estes índices sejam superados, estas plantas produzem altas taxas de

transpiração com grandes perdas de água pelos seus estômatos para que a sua temperatura interna se reequilibre, cessando momentaneamente a fotossíntese. (GUNTENSPERGEN et al., 1988)

3.3 – Reutilização de efluentes líquidos tratados

3.3.1. Consumo industrial de água:

De uma maneira geral não existem dados sobre o consumo de água pelas unidades industriais. Muitas indústrias ainda têm receio de disponibilizar esta informação e tratam estes dados como sigilosos com receio de alguma ação por parte dos órgãos ambientais quanto por parte das empresas fornecedoras de água (REBOUÇAS, 2002).

A água já é um recurso natural cuja a escassez preocupa a população mundial, assim neste momento a sociedade se prepara para pagar tanto o consumo quanto pelo uso dado à água.

Indústrias de um mesmo segmento com diferenças técnicas no setor produtivo, podem apresentar dados de consumo de água muito diferentes (REBOUÇAS, 2002).

O fator econômico (custo da água) também possui grande influência no consumo e na finalidade dada à este volume utilizado. As organizações industriais passaram à investir em programas de conservação de água com a mesma intensidade dos programas de conservação de energia (REBOUÇAS, 2002).

Atualmente a água é encarada como um bem estratégico por muitas nações.

As indústrias investem em programas de redução de desperdícios de água e mais recentemente no tratamento mais refinado do efluente líquido.

3.3.2. Escolha do tipo de tratamento de efluentes líquidos:

Toda indústria necessita de um sistema de tratamento de efluentes líquidos industriais para obter a licença de funcionamento. Este sistema tem um custo operacional para funcionar, depois de tratado geralmente o efluente era descartado nos rios e corpos d'água próximos à indústria.

Com esta nova tendência de cobrança pelos usos da água, muitas empresas começam a ter como alternativa viável o aprimoramento do tratamento do efluente final para reutilização em atividades que não requerem uma alta qualidade da água, proporcionando uma economia do consumo de água e dando um aproveitamento ao efluente tratado ao invés de simplesmente descartá-lo.

Para se definir os processos de tratamento mais adequados é necessário se conhecer o tipo de efluente que será tratado: suas características físico-químicas, volumes, legislações aplicáveis e adaptar a estação de tratamento à esta realidade (REBOUÇAS, 2002).

Como os processos e a tecnologia evoluem constantemente a unidade de tratamento de efluentes deve ser vista como uma unidade dinâmica, onde os processos de tratamento devem evoluir de acordo com as necessidades da indústria e das exigências de economia de consumo de água.

3.3.3. Qualidade da água para consumo industrial.

Cada setor industrial possui uma demanda específica para a qualidade da água a ser utilizada em seu processo produtivo. Algumas indústrias utilizam a água como um dos componentes de seu produto final, fato que provoca a necessidade de um processo de pré-tratamento da água muitas vezes complexo e caro como: membranas de osmose reversa, sistemas de ultra-filtração, dessalinização. Porém nem todas as atividades dentro das indústrias necessitam de alta qualidade da água, limpeza de calçadas, lavagem de veículos, lavagem de áreas externas, irrigação paisagística de áreas verdes são todas atividades em que se pode utilizar o efluente final do sistema de tratamento ao invés de água tratada para utilização em processos industriais (REBOUÇAS, 2002).

Desde 1985 o conselho econômico e social das Nações Unidas estabelece a seguinte política de gestão para áreas de escassez de água: “nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada em atividades que tolerem águas de qualidade inferior” (UNITED NATIONS, 1985).

3.3.4.Reúso

De uma maneira geral, o reúso de água pode ocorrer de forma direta ou indireta por meio de ações planejadas ou não. De acordo com a organização Mundial da Saúde (1973) tem-se (MANCUSO,2003):

- a) **Reúso indireto** – ocorre quando a água utilizada uma ou mais vezes é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente à jusante.
- b) **Reúso direto** – é o uso planejado e deliberado de esgotos, ou efluentes industriais tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável.
- c) **Reciclagem interna** – é o reúso da água nas instalações industriais, visando a economia de água e controle da poluição.

O reúso planejado está associado à um sistema de tratamento que não atenda somente às exigências ambientais, mas também às necessidades de qualidade de água nas atividades em que este efluente será reutilizado (MANCUSO,2003).

Geralmente à grande demanda industrial de água está na reposição de águas de resfriamento, dentre os usos industriais os que apresentam as maiores demandas por água são (MANCUSO,2003):

- a) Torres de resfriamento;
- b) Caldeiras;
- c) Lavagem de peças e equipamentos;
- d) Irrigação de áreas verdes;
- e) Lavagens de pisos e veículos;
- f) Processos industriais.

Os sistemas de tratamento para reúso em sistemas de resfriamento semi-abertos, necessitam de uma água que não provoque corrosão ou formação de depósitos, desenvolvimento de microrganismos na tubulação de refrigeração (MANCUSO,2003).

Já a lavagem de pisos, veículos e equipamentos industriais, exige uma água sem a presença de substâncias que possam dar coloração aos objetos que estão sendo lavados ou até mesmo contaminar as pessoas (microrganismos patogênicos ou substâncias perigosas diluídas) que executam estas atividades (REBOUÇAS, 2002).

Já a irrigação de áreas verdes da fábrica é uma das atividades mais tolerantes quanto à qualidade do efluente final, sendo que exige uma avaliação do solo local, sua capacidade de infiltração, bem como uma avaliação das plantas à serem irrigadas, suas necessidades hídricas e sua utilização. Caso a finalidade dos vegetais sejam apenas paisagísticas o controle da qualidade do efluente estará em função da manutenção dos equipamentos de irrigação utilizados, caso os vegetais sejam utilizados na alimentação humana, precisa-se monitorar a qualidade do efluente em termos da presença de organismos patogênicos que podem vir a transmitir doenças à que ingerir os vegetais irrigados como efluente contaminado (MANCUSO,2003).

Para reutilizar o efluente tratado dentro do processo industrial, deve-se estudar minuciosamente o processo produtivo, levantando a exigência de qualidade de água deste processo. Com base nestes dados avalia-se a capacidade de tratamento do sistema de tratamento de efluentes industriais e a qualidade do efluente final, caso seja possível e viável o reúso no processo industrial deve ser executado, porém em muitos o reúso torna-se a alternativa mais cara.

A maioria das indústrias, nestes últimos anos está colocando em prática programas de reúso que visam inicialmente reutilizar o efluente tratado em atividades secundárias, como forma de dar um uso mais nobre que o simples descarte do efluente tratado e diminuir o consumo de água. Somente com a elevação dos custos da água haverá motivação para investimentos maiores em sistemas de reúso de efluentes em processos industriais que exijam uma água de grande qualidade.

IV- Material e Métodos

4.1- Local do Experimento

O trabalho foi desenvolvido com base nos resultados de monitoramento dos parâmetros físico-químicos de um sistema de tratamento de efluentes líquidos instalado em uma agroindústria produtora de aromatizantes e palatibilizantes para ração de animais de pequeno porte localizada em Descalvado-SP.



Figura 11: Vista aérea da ETE estudada

4.2- Fluxograma do sistema de tratamento estudado:

O sistema em que este trabalho foi realizado é composto das seguintes etapas: Sistema primário com remoção de partículas grosseiras, equalização de pH, sistema secundário com lagoas aeradas e lagoa facultativa e sistema terciário (polimento) com leito de macrófitas.

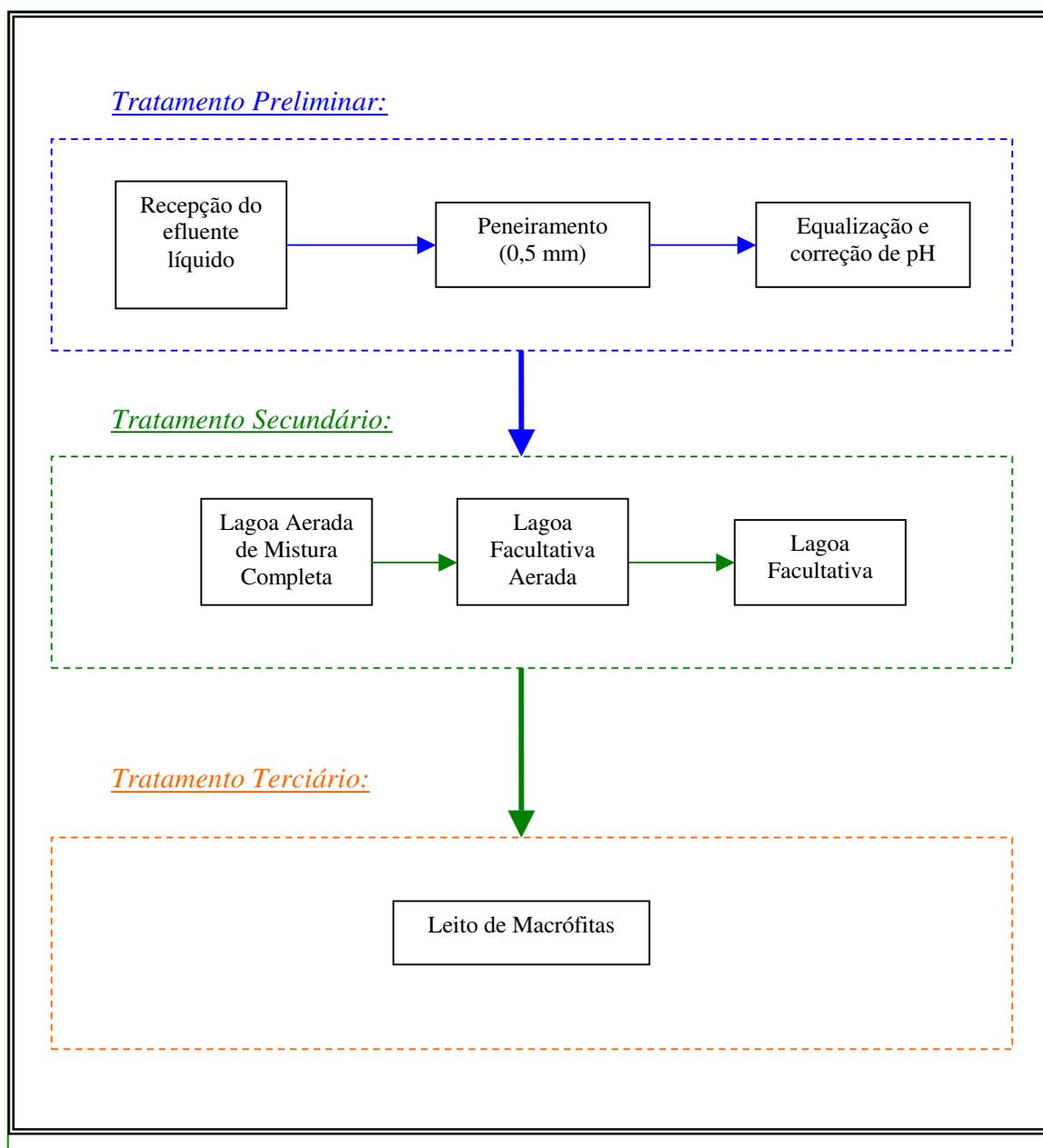


Figura 12: Fluxograma da ETE.

4.3- Leito de macrófitas

A unidade estudada neste trabalho possui uma particularidade foi dividida em 3 fases (conforme é mostrado na Figura 12), a intenção é de se ter um leito convencional na faixa inicial, com pedras e plantas, uma segunda fase líquida para a reeração superficial do efluente e novamente na terceira etapa com pedras e plantas, para a “filtragem” final do efluente.

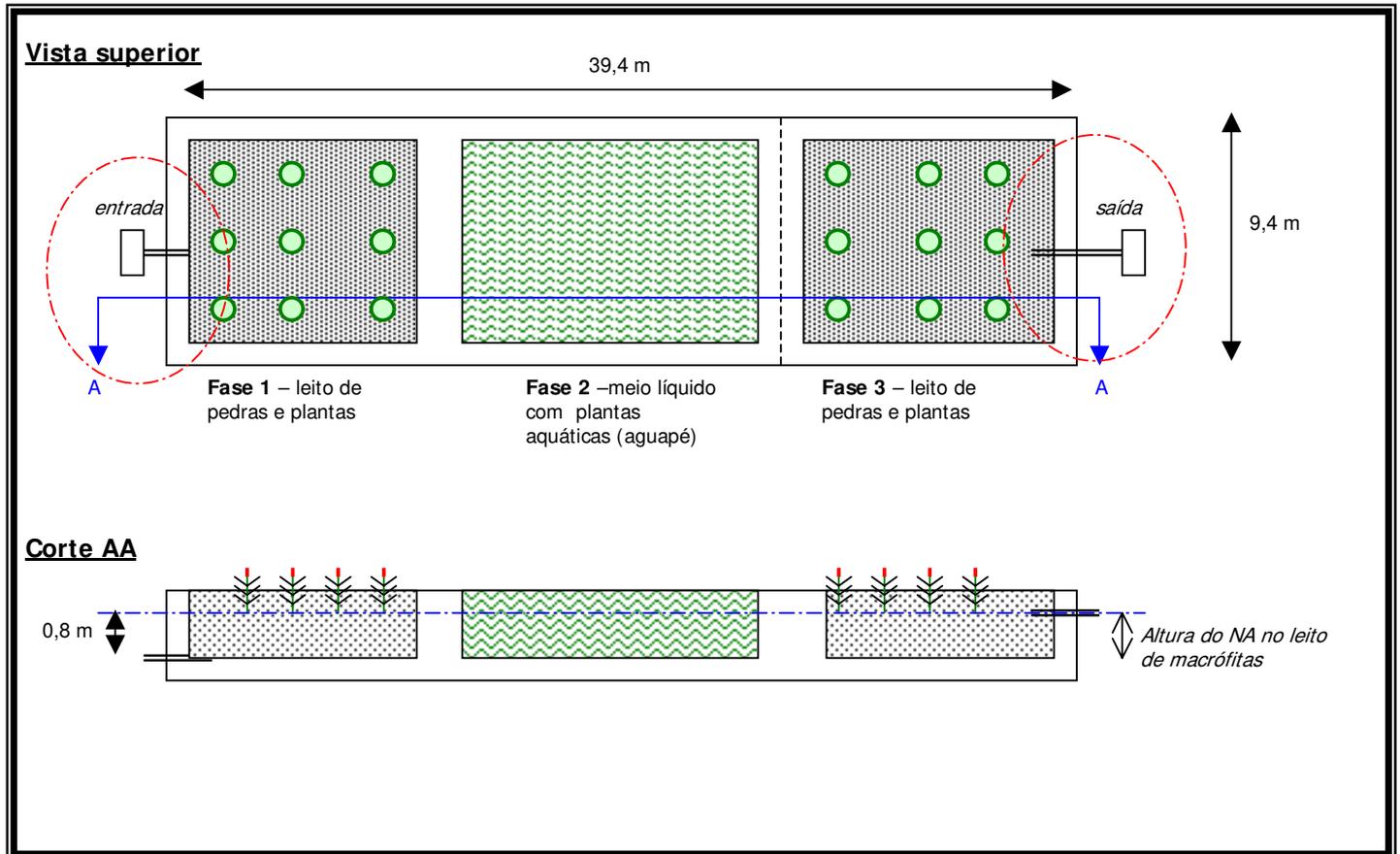


Figura 13: Esquema do leito de macrófitas estudado.

4.4- Parâmetros analisados

Neste trabalho foram analisados os parâmetros apresentados no quadro abaixo coletados e analisados por laboratório de confiança da indústria, seguindo os procedimentos do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 19^a ed. 1995*. As amostragens eram realizadas mensalmente, conforme orientação da Cetesb e os pontos de amostragem são a caixa de entrada do leito e a caixa de saída conforme identificado em tracejado vermelho na figura 12.

A discussão é balizada nos resultados encontrados nas análises físico-químicas, alguns dos parâmetros fazem parte do programa de monitoramento contínuo e possuem uma frequência mensal de amostragem:

- *DBO₅²⁰*;
- *DQO*;
- *Óleos e graxas*;
- *Sólidos Totais*;

Outros parâmetros como os nutrientes não estão incluídos neste programa de monitoramento pelo fato de ter um elevado custo e principalmente pelo fato da Cetesb não solicitar nem comentar a necessidade de se acompanhar estes outros parâmetros, deste modo realizaram-se poucas análises durante o período de desenvolvimento deste trabalho pode-se contar com 3 (três) amostragens destes parâmetros porém em períodos diferentes do monitoramento mensal citado acima:

- *Sólidos Suspensos Totais*
- *Sólidos Suspensos Voláteis*
- *Fosfato Total*
- *Nitrogênio Total Kjeldhal*
- *Coliformes Totais*
- *Coliformes Fecais*

Apesar das datas de coleta destes parâmetros complementares não coincidirem foram citados neste trabalho com a finalidade de ilustrar a capacidade de remoção de nutrientes do leito de macrófitas.

V- Resultados e discussões

5.1 – Parâmetros de acompanhamento contínuo

Para o acompanhamento contínuo da performance do sistema de tratamento de efluentes a indústria realiza uma bateria de análises dos parâmetros de maior importância para o órgão fiscalizador (Cetesb), notadamente: DBO, DQO, Óleos e Graxas, Sólidos Totais e Sólidos Sedimentáveis na entrada e saída de cada um dos componentes deste sistema.

Seguem os resultados obtidos neste acompanhamento e discussões sobre cada um destes elementos.

5.1.1 – DBO, DQO, óleos e graxas

Nos quadros e gráficos abaixo pode-se observar os resultados obtidos para os parâmetros do monitoramento.

Data	Leito de macrófitas (mg/L)		eficiência(%)
	entrada	saída	
abr/03	219	30	86,30
mai/03	29	14	51,72
jun/03	71	45	36,62
jul/03	398	189	52,51
ago/03	325	141	56,62
set/03	455	301	33,85
out/03	541	285	47,32
nov/03	430	278	35,35
dez/03	396	113	71,46
jan/04	241	190	21,16
fev/04	124	64	48,39
mar/04	166	62	62,65
abr/04	138	47	65,94
<i>média</i>	<i>271,77</i>	<i>135,31</i>	<i>51,53</i>

Quadro 4: Concentração de DBO.

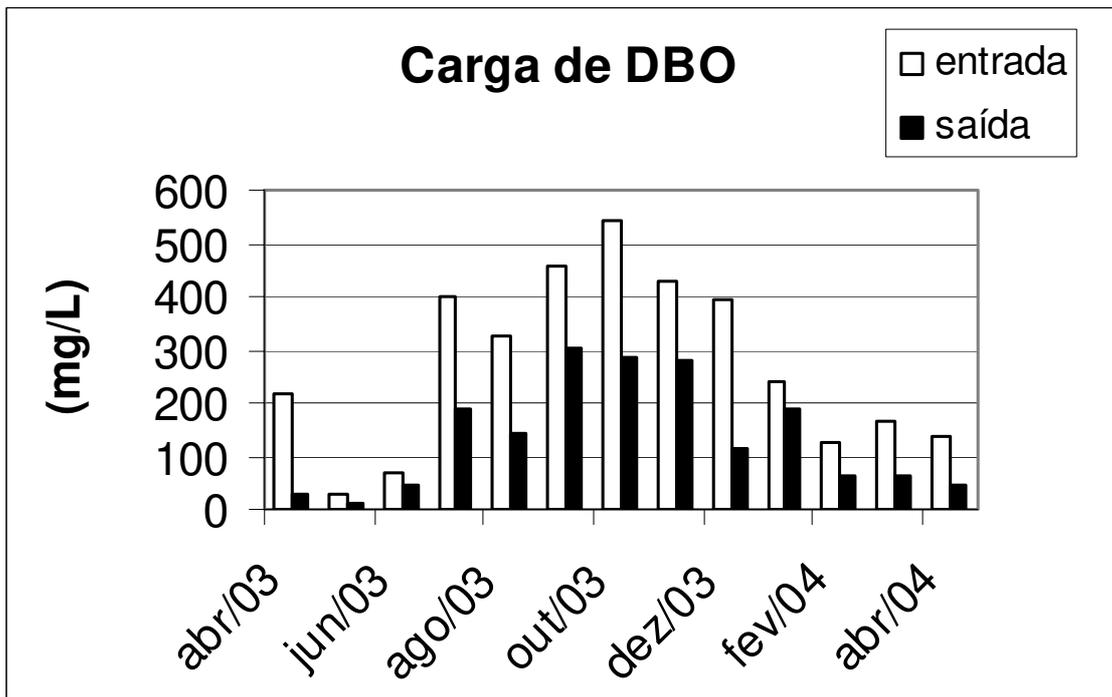


Figura 14: Cargas de entrada e saída de DBO.

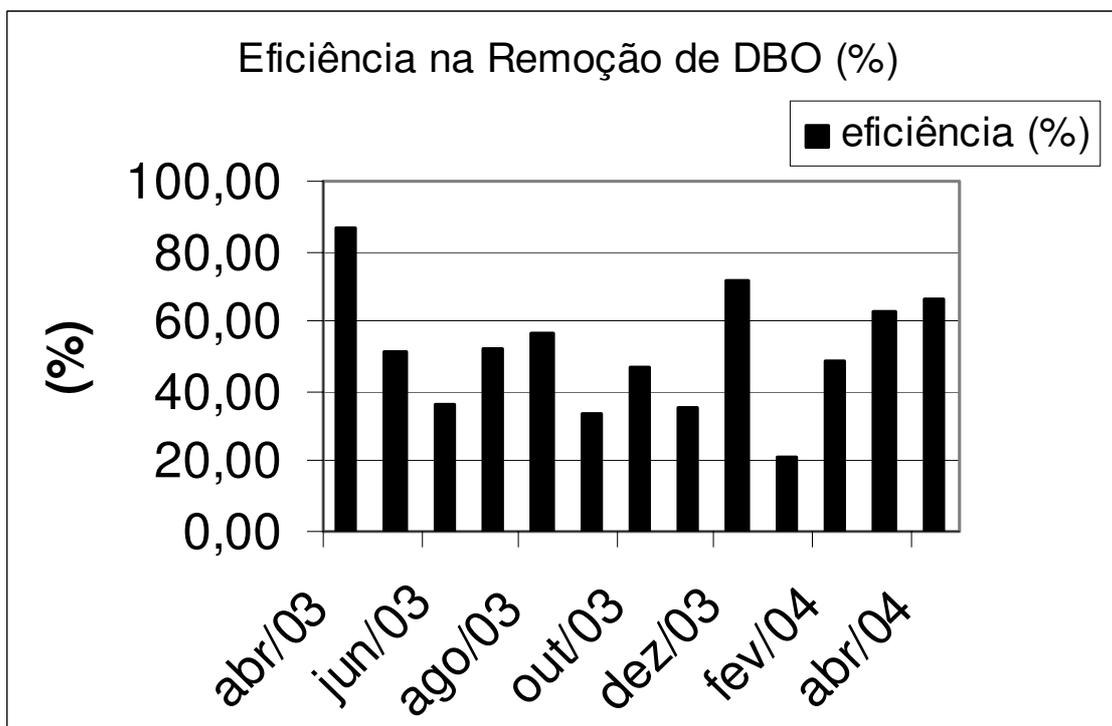


Figura 15: Porcentagem de remoção de DBO

Data	Leito de macrófitas (mg/L)		eficiência(%)
	entrada	saída	
abr/03	520	93	82,12
mai/03	252	80	68,25
jun/03	403	75	81,39
jul/03	915	480	47,54
ago/03	849	382	55,01
set/03	1.138	778	31,63
out/03	1.366	743	45,61
nov/03	1.096	740	32,48
dez/03	989	290	70,68
jan/04	590	504	14,58
fev/04	322	180	44,10
mar/04	434	175	59,68
abr/04	395	145	63,29
média	713,00	358,85	53,57

Quadro 5: Concentração de DQO

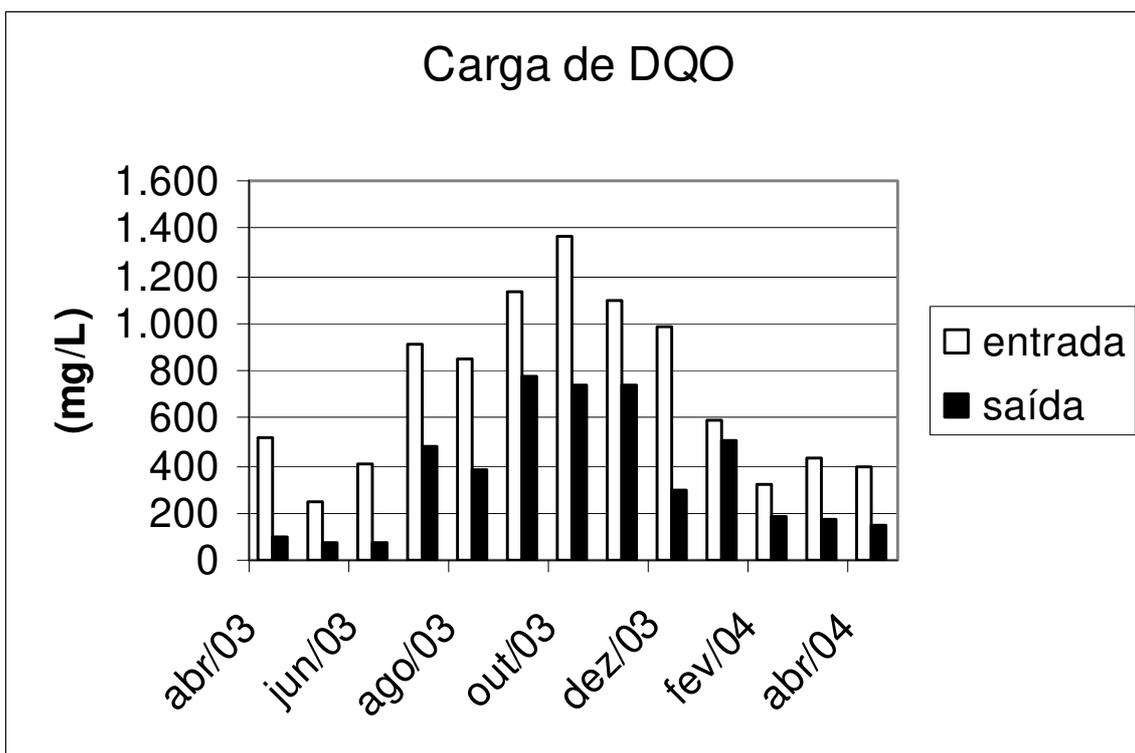


Figura 16: Remoção de DQO.

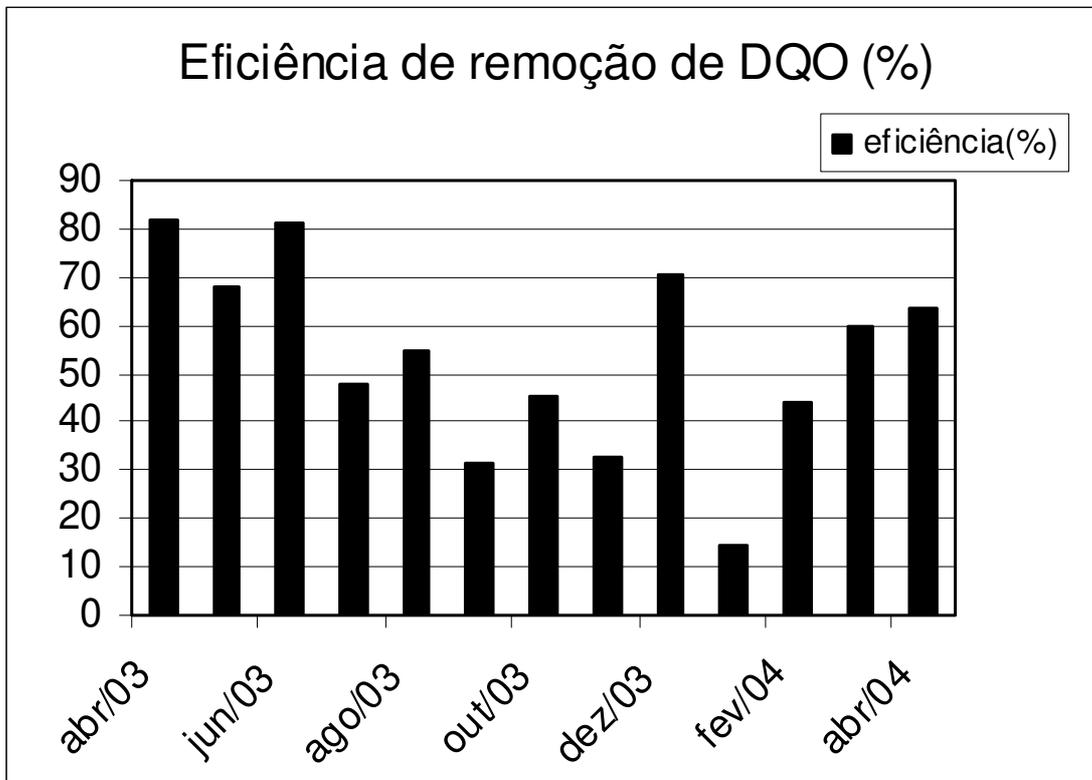


Figura 17: Eficiência de remoção de DQO.

Data	Leito de macrófitas (mg/L)		eficiência(%)
	entrada	saída	
abr/03	35	6	82,86
mai/03	54	8	85,19
jun/03	20	4	80,00
jul/03	48	21	56,25
ago/03	30	16	46,67
set/03	96	41	57,29
out/03	98	38	61,22
nov/03	144	82	43,06
dez/03	112	45	59,82
jan/04	15,3	38,4	
fev/04	18,4	10,2	44,57
mar/04	6,7	14,6	
abr/04	4,6	4,8	
média	52,46	25,31	61,69

Quadro 6: Concentração de óleos e graxas

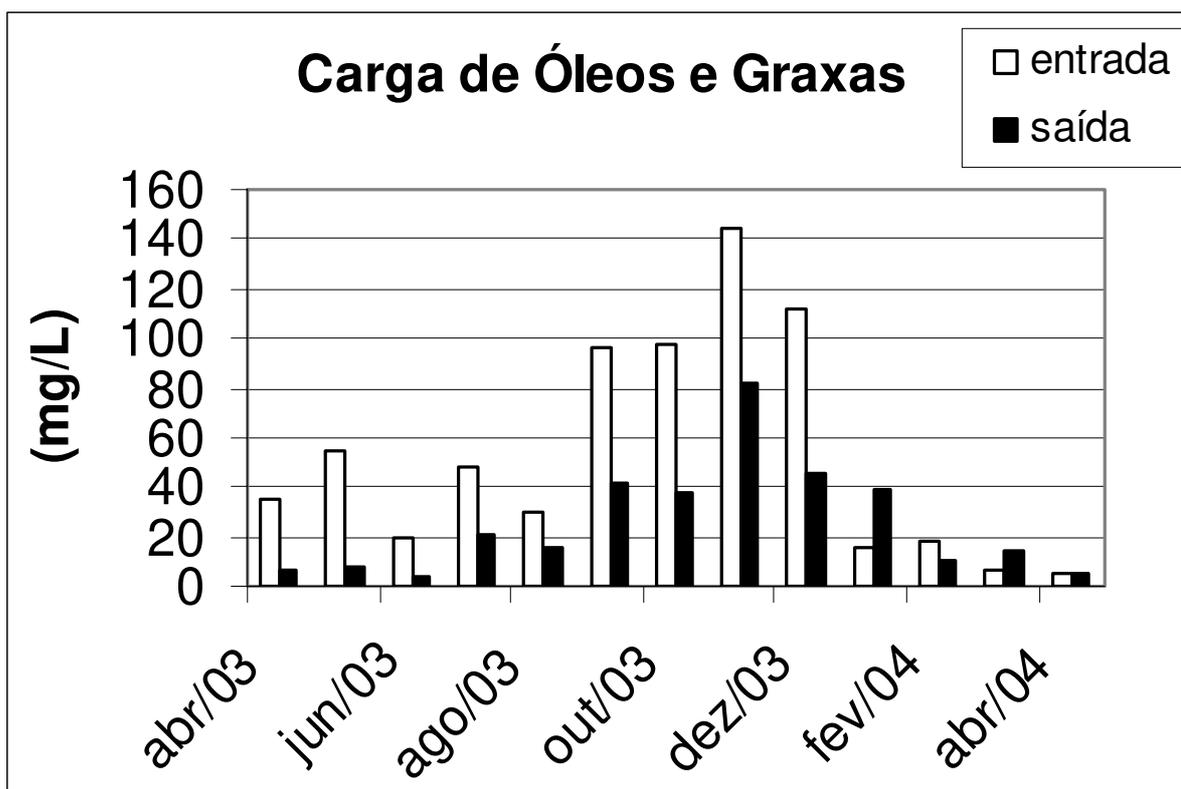


Figura 18: Remoção de óleos e graxas.

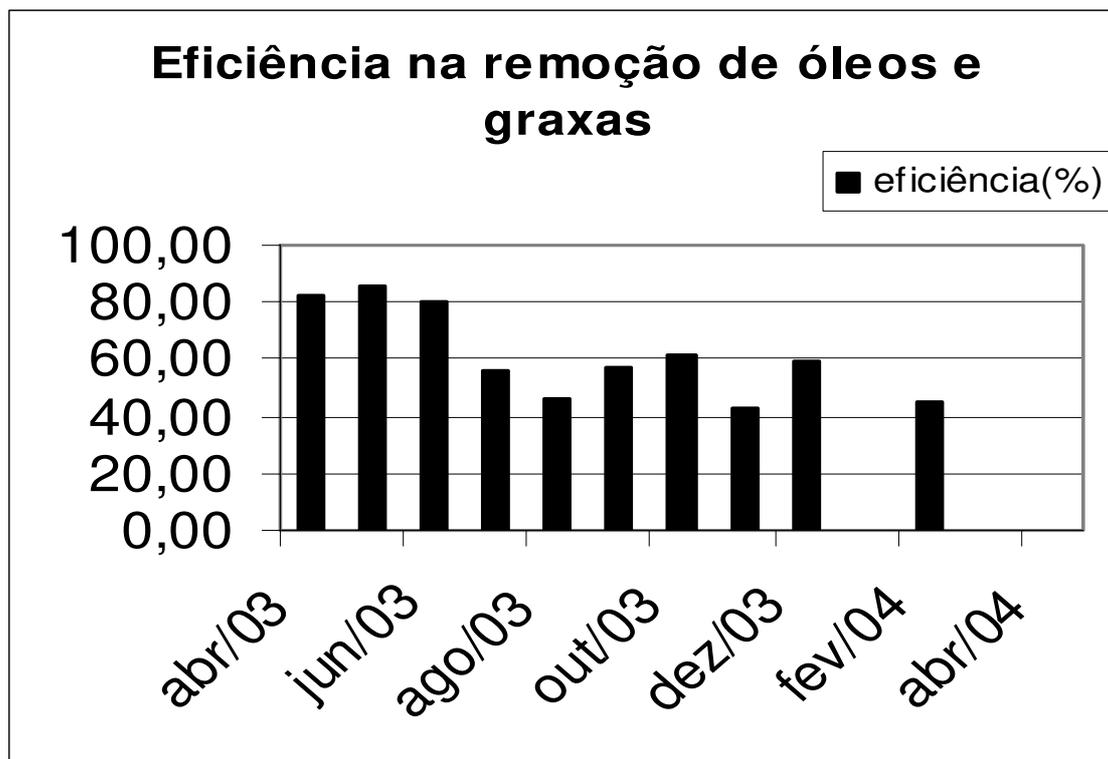


Figura 19: Eficiência de remoção de óleos e graxas.

Em relação à DBO pode-se destacar os seguintes aspectos:

As cargas de entrada foram aumentando sua concentração de ABR/03 até AGO/03;

A amostragem de JAN/04 apresentou o pior resultado em termos de eficiência de remoção de DBO dentre as demais coletas, com 241mg/L na entrada e 121mg/L na saída e apenas 21,16% de eficiência;

De Outubro/03 à Abril/04 ocorre uma diminuição gradual da concentração de DBO afluente e conseqüentemente a queda da concentração de DBO no efluente final:

Quando a DBO afluente fica abaixo dos 200 mg/L o efluente final apresentou índices abaixo dos 60 mg/L que constam na legislação para lançamento de efluentes em corpos d'água classe 2 (Lei 997/76).

Através dos resultados obtidos nas análises laboratoriais verifica-se que o afluente do leito de macrófitas possui na média valores altos de carga orgânica (DBO, DQO), típico de resíduos líquidos que ainda sofrerão o tratamento secundário (biológico).

Durante o período de coleta de amostras foi observado um consumo de água muito maior que o previsto no projeto da estação de tratamento (aproximadamente 3 vezes superior ao pico de vazão de projeto). O aumento de vazão nestes níveis faz com que os tempos de detenção hidráulica diminuam proporcionalmente, com um menor tempo de detenção a degradação biológica não se dá de forma completa no tratamento secundário fato que se comprova nas concentrações do afluente do leito de macrófitas.

Conforme se esperava concentração de DQO acompanhou o comportamento dos dados de DBO.

Nos meses de ABR/03 à OUT/03 houve aumento de carga afluente e nos meses de FEV/04, MAR/04 e ABR/04 esses valores estão mais próximos de um efluente de um sistema secundário o leito de macrófitas melhorar seu desempenho de tratamento e o efluente final apresenta índices menores de concentração destes poluentes.

Observando-se os dados de entrada de DQO e DBO nota-se que a razão entre eles fica em 3,25. Nos dados de saída obtêm-se a relação DQO/DBO em 2,89. Segundo VON SPERLING (1996), é comum encontrar relações DQO/DBO entre 2:1 e 3:1.

A relação DQO/DBO encontrada indica que se trata de um efluente propício à degradação biológica (VON SPERLING, 1996).

Somente quando DQO/DBO assume valores acima de 8:1 é que se pode dizer que o efluente possui algum componente inibidor do processo de degradação biológica.

Observando os resultados das análises quanto à carga de óleos e graxas nota-se que em 5 coletas a performance de remoção de carga de óleos e graxas foi abaixo de 60%.

Em algumas coletas pode-se notar uma concentração de saída mais elevada que a concentração de entrada (JAN/04, MAR/04 e ABR/04).

Vincula-se este fato ao aumento de vazão detectado, o nível da lâmina líquida dentro do leito de macrófitas subiu a ponto de ultrapassar a altura do meio filtrante, assim parte do afluente passava por cima do leito sem sofrer qualquer tipo de tratamento. Os óleos e graxas se concentram na superfície do meio líquido, por isso nesta época o leito apresentou baixa eficiência de remoção deste parâmetro.

Os resultados dos parâmetros óleos e graxas, DBO e DQO no afluente do leito de macrófitas, apontam para a necessidade de complementação do tratamento biológico. Tanto

em sua capacidade de detenção hidráulica quanto em sua capacidade de tratamento de elevadas concentrações de cargas orgânicas.

Os ingredientes utilizados no processo produtivo são segredo industrial, assim pouco pode-se opinar dentro dos processo de geração dos efluentes líquidos industriais, mas nota-se ao longo do período de monitoramento um aumento da concentração do efluente. Cargas muito elevadas aliadas ao aumento de vazão mudam completamente as características do sistema de tratamento, o leito de macrófitas que inicialmente fora projetado como unidade de polimento, tornou-se componente do tratamento secundário.

Nota-se que quando as cargas de entrada do leito convergem para padrões de melhor qualidade, ou seja com características de um efluente de um sistema secundário, o leito de macrófitas assume o comportamento de uma unidade um polimento, fato que pode ser notado nas três últimas coletas realizadas (ver dados FEV/04, MAR/04 e ABR/04).

5.1.2 – Sólidos totais

No quadro 12 abaixo pode-se verificar os resultados obtidos em relação à concentração de sólidos totais.

Data	Leito de macrófitas (mg/L)		eficiência(%)
	entrada	saída	
abr/03	1.268	816	35,65
mai/03	1.404	932	33,62
jul/03	1.528	1.230	19,50
ago/03	1.792	1.604	10,49
set/03	1.758	1.518	13,65
out/03	1.842	1.500	18,57
nov/03	1.774	1.524	14,09
dez/03	1.428	948	33,61
jan/04	1245	1042	16,31
fev/04	1053	850	19,28
mar/04	975	778	20,21
abr/04	1140	872	23,51
média	1.434	1.135	22

Quadro 7: Concentração de sólidos totais

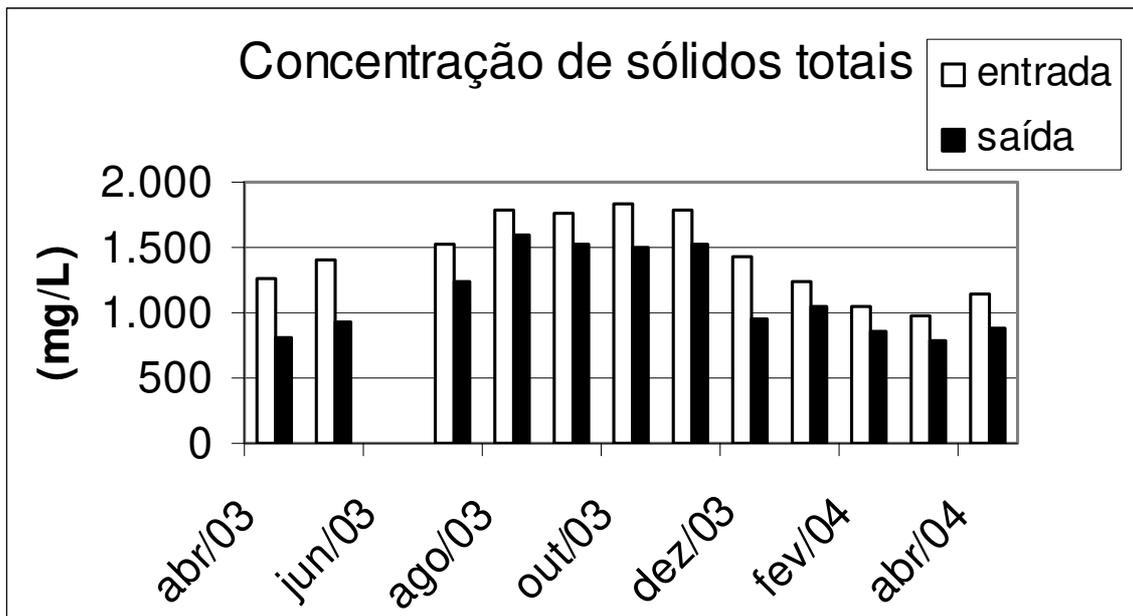


Figura 20: Remoção de sólidos totais

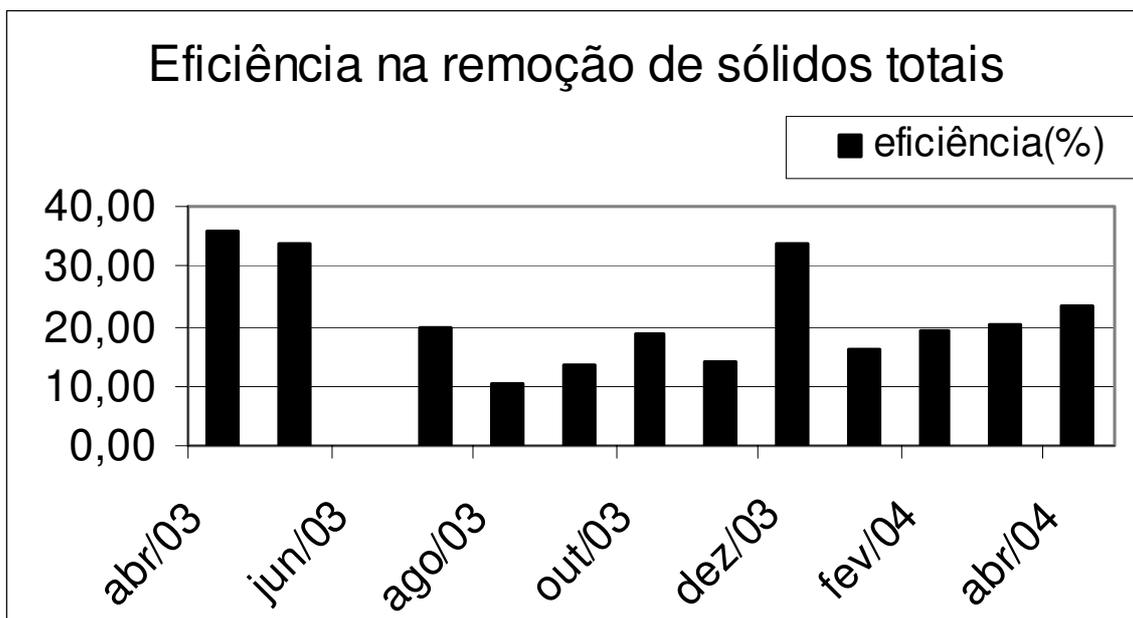


Figura 21: Eficiência de remoção de sólidos totais.

Nota-se que a maior parte dos sólidos totais que aparecem na entrada do leito, estão presentes na saída também (baixa eficiência de remoção).

Observa-se que neste parâmetro o leito de macrófitas não apresentou uma modificação significativa, porém os sólidos totais englobam tanto os sólidos dissolvidos quanto os sólidos em suspensão, que podem ser facilmente removidos em leitos de macrófitas, sendo vastas as citações deste fato na literatura científica (Metcalf & Eddie, 1991; VON SPERLING, 1996; entre outros).

A eficiência de remoção de sólidos está diretamente vinculada ao tempo de detenção hidráulico adequado. Pode-se notar nos resultados obtidos uma semelhança com os comportamentos das cargas de DBO, DQO e óleos e graxas, sendo que nos três últimos meses de monitoramento as cargas de entrada diminuem e assim os resultados finais acompanham esta melhora.

5.2 - Parâmetros complementares

Para complementar as análises de acompanhamento contínuo do leito de macrófitas realizam-se as análises: Sólidos Suspensos Totais, Sólidos Suspensos Fixos, Sólidos Suspensos Voláteis, Nitrogênio Total Kjeldal (NTK), Fosfato Total, Coliformes Totais e Coliformes Fecais.

Seguem os resultados obtidos neste acompanhamento e discussões sobre cada um destes parâmetros.

5.2.1 – Sólidos Suspensos Totais

Na análise dos resultados obtidos para os sólidos suspensos totais se apresentam os resultados obtidos nos meses de avaliação detalhada do sistema de tratamento.

No quadro 8 pode-se verificar os resultados obtidos.

Data	Leito de macrófitas (mg/L)		eficiência(%)
	entrada	saída	
ago/02	167	63	62,28
nov/02	66	17	74,24
abr/03	290	40	86,21
média	174,33	40,00	74,24

Quadro 8: Concentração de sólidos suspensos totais

Nota-se que a maior parte dos sólidos suspensos totais que aparecem na entrada do leito são removidos pelo leito de macrófitas, média de eficiência de 74,24%. Este leito é precedido por uma lagoa facultativa, assim pode-se atribuir a presença de sólidos suspensos com o desenvolvimento de algas na lagoa facultativa, pois o tempo de detenção hidráulico elevado (acima de 15 dias) permite a decantação dos sólidos suspensos na lagoa facultativa.

Observa-se que a escala das amostras de sólidos suspensos totais está menor que a de sólidos totais (aproximadamente 10x menor), isso significa que boa parte dos sólidos totais é formado por sólidos que se encontram dissolvidos no meio líquido, fato compatível com a característica da produção industrial desta unidade, produtos líquidos palatilizantes de rações animais.

5.2.2 - Sólidos Suspensos Fixos

No quadro 14 pode-se verificar os resultados obtidos para os sólidos suspensos fixos.

Data	Leito de macrófitas (mg/L)		eficiência(%)
	entrada	saída	
ago/02	22	9	59,09
nov/02	10	3	70,00
abr/03	46	6	86,96
média	26,00	6,00	72,02

Quadro 9: Concentração de sólidos suspensos fixos

Observando os resultados dos quadros acima, nota-se que os sólidos suspensos fixos compõem uma pequena parte dos sólidos suspensos totais. Ou seja, poucas partículas de sólidos fixos estão presentes nos sólidos suspensos totais que acusam nas amostragens da

entrada do leito de macrófitas. Reforçando a idéia de que estes índices apresentados na Quadro 14 são fruto da grande quantidade de algas presentes na lagoa facultativa que precede o leito de macrófitas.

Observa-se que a maior parte dos sólidos suspensos fixos são removidos pelo leito de macrófitas. Esta é uma das principais funções do leito de macrófitas, no caso desta unidade a eficiência não foi maior devido às variações bruscas das vazões muito além das previsões de projeto (vazões 3 vezes maiores que o limite máximo) mudando as características de fluxo sub-superficial.

5.2.3 – Sólidos Suspensos Voláteis

No quadro 15 pode-se verificar os resultados obtidos para os sólidos suspensos voláteis.

Data	Leito de macrófitas (mg/L)		eficiência(%)
	entrada	saída	
ago/02	145	54	62,76
nov/02	56	14	75,00
abr/03	244	34	86,07
média	148,33	34,00	74,61

Quadro 10: Concentração de sólidos suspensos voláteis.

Observando os resultados, nota-se que a média da eficiência de remoção dos sólidos suspensos fixos e voláteis é bem parecida, em torno dos 70%, apesar dos números absolutos de sólidos suspensos voláteis serem superiores aos sólidos fixos.

Observando-se os resultados dos parâmetros sólidos totais e sólidos suspensos totais pode-se verificar que a maioria dos sólidos presentes se encontram dissolvidos (observar quadro de sólidos totais e quadro de sólidos suspensos totais) no meio líquido.

Nas análises também ficou claro que a maior parte dos sólidos suspensos é composta por sólidos orgânicos (voláteis).

Fatos que estão em perfeita harmonia com as características do efluente industrial, ou seja a maior parte dos sólidos do efluente está dissolvido no meio líquido e é volátil (orgânico).

5.2.4 – Nitrogênio Total Kjeldal (NTK)

A remoção de nutrientes presentes nos efluentes de tratamentos secundários se constitui uma preocupação crescente por parte dos órgãos ambientais e a tendência é de se exigir em sistemas de tratamento o monitoramento dos índices de nutrientes, notadamente nitrogênio (presente na matéria orgânica) e fósforo.

No quadro 16 pode-se verificar os resultados obtidos para o nitrogênio total kjeldal (NTK).

Data	Leito de macrófitas (mg/L)		eficiência(%)
	entrada	saída	
ago/02	342	167	51,17
nov/02	166	149	10,24
abr/03	111	76	31,53
média	206,33	130,67	30,98

Quadro 11: Concentração de nitrogênio total kjeldal.

Observando os resultados, observa-se que a média da eficiência de remoção de NTK está em torno dos 30%, apesar dos números absolutos serem elevados na saída, nota-se que os valores de entrada também são bastante elevados.

Como ainda existe a presença de sólidos suspensos voláteis na saída do leito, praticamente resultantes da alta quantidade de algas formadas na lagoa facultativa, aliado ao fato de existir uma grande variação no regime de vazões da indústria e a quantidade de plantas estar em aproximadamente 0,2 plantas/m², pode-se melhorar este índice de remoção de NTK com o aumento da concentração das plantas para algo em torno de 4 plantas/m² (SIMI & MITCHELL, 1999).

5.2.5 – Fósforo Total

Ao contrário do nitrogênio que tanto é consumido pelas plantas como por bactérias presentes no ambiente dos leitos de macrófitas, o fósforo é removido pela demanda das plantas por este nutriente ou por meio da adição de reagentes químicos para reação e posterior remoção num processo que necessitaria de um sistema específico para este fim.

No quadro 17 pode-se verificar os resultados obtidos para a remoção do fósforo total pelo leito de macrófitas.

Data	Leito de macrófitas (mg/L)		eficiência(%)
	entrada	saída	
ago/02	214	158	26,17
nov/02	521	443	14,97
abr/03	457	364	20,35
<i>média</i>	<i>397,33</i>	<i>321,67</i>	<i>20,50</i>

Quadro 12: Concentração de fósforo total.

Observa-se que a média da eficiência de remoção de fósforo ficou semelhante com a média de remoção do NTK (Quadro 16), em torno dos 20%.

Ressalta-se que no caso deste sistema de tratamento em particular a concentração de fósforo é muito elevada, pois um dos insumos da produção é o ácido fosfórico, muito presente na composição do efluente industrial e de difícil remoção no tratamento secundário (biológico). Assim o leito de macrófitas assume a responsabilidade de remoção

Conforme citado no item anterior a concentração de plantas no leito de macrófitas ainda pode ser aumentada sensivelmente, até atingir o índice de 4 plantas/m²(SIMI & MITCHELL, 1999). Além desse fator, pode-se trabalhar na redução da concentração de fósforo no efluente, com medidas de redução de desperdícios dentro da linha de produção. A remoção de fósforo é muito difícil de ser conseguida em um processo natural sem a adição de produtos químicos.

5.2.6 – Coliformes Totais e Coliformes Fecais

A presença de coliformes totais e fecais, a princípio não era esperada, pois não existe a contribuição de esgoto sanitário para o sistema de tratamento de efluentes.

Os dados detectados no monitoramento a princípio causaram surpresa, porém detectou-se um intenso repovoamento de pássaros, anfíbios e até uma pequena tartaruga (relatos de funcionários).

A seguir a Quadro 18 com os dados da amostragens de coliformes totais e fecais do leito de macrófitas

Data	Coliformes Totais	Coliformes Fecais
nov/02	6,0E+04	5,0E+02
abr/03	1,0E+04	3,4E+02
ago/03	2,3E+05	3,5E+03
set/03	7,5E+06	1,0E+05
out/03	3,0E+0,6	5,00E+06
nov/03	2,0E+0,6	2,00E+06
dez/03	2,9E+0,5	4,5E+05
jan/04	2,00E+04	4,00E+04
fev/04	1,2E+04	600
mar/04	2,80E+04	1,30E+04
abr/04	1,6E+04	3,0E+03

Quadro 13 – Concentração de coliformes totais e fecais

A presença de coliformes nas análises do efluente final indica que pode estar havendo uma contribuição irregular de esgoto sanitário.

Nota-se nos resultados obtidos para a remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo) que apesar de ocorrer a remoção a maior parte dos nutrientes continua presente no efluente final. O leito não apresentou grande proliferação das plantas, fato que pode estar vinculado com a granulometria do meio filtrante (brita 4) como já foi observado em outros experimentos conforme a literatura consultada (MANIOS et al, 2003).

O fósforo por exemplo é um nutriente que só é removido especificamente pela demanda das plantas, sinal de que a quantidade de plantas deve ser aumentada de maneira a proporcionar uma remoção maior dos nutrientes presentes no resíduo líquido.

O efluente final apresentou resultados elevados de nitrogênio e de sólidos suspensos voláteis, pode-se vincular ambos os resultados à presença de algas no efluente final.

5.3 – Possibilidades de reúso do efluente final

De acordo com os resultados apresentados nos itens anteriores a qualidade atingida no efluente final apresentou um índice elevado de DBO, DQO, óleos e graxas, além da presença de coliformes totais e fecais foram argumentos suficientes para que a indústria vetasse qualquer tipo de reutilização deste efluente em locais próximos à unidade de produção industrial por receio de possibilidade de contaminação de sua produção.

Por não existir um consenso sobre a qualidade da água necessária para limpezas de calçadas e fachadas dos prédios optou-se por utilizar o efluente tratado somente na irrigação das áreas verdes externas. Dado que a região possui clima quente solo arenoso com elevada velocidade de infiltração e necessita da irrigação para a manutenção das áreas verdes.

5.4 - Sugestões de alterações e melhorias para o leito de macrófitas:

O sistema de tratamento secundário precisa ser incrementado de maneira que o leito de macrófitas receba um afluente com características de um efluente que já sofreu a degradação biológica necessária.

Como não houve o acompanhamento constante e preciso da vazão afluente e efluente do leito de macrófitas, encontra-se dificuldade em determinar a taxa de remoção de DBO atribuída ao leito de macrófitas.

Sabe-se que a vazão do efluente teve uma grande variação partindo desde o limite máximo do projeto $80 \text{ m}^3/\text{dia}$, até atingir picos de $240 \text{ m}^3/\text{dia}$.

Com esta variação elevada e sem os registros precisos, tentar determinar as taxas de remoção de DBO torna-se pura especulação.

Os entupimentos na tubulação de entrada do leito mostraram que a localização da entrada do leito no nível mais baixo pode ser inconveniente para as operações de manutenção.

Sugere-se a modificação do posicionamento das tubulações de entrada e saída da unidade, ou seja a entrada deve se localizar na cota à 0,10 m abaixo da superfície das pedras e a saída do leito deve estar localizada na cota à 1 m de profundidade em relação à superfície das britas. Essa alteração facilitaria as eventuais manutenções das obstruções na tubulação de

entrada, muito mais suscetível à entupimentos que a saída do leito, pois o efluente ao passar pelas raízes e pedras perde muito das partículas em suspensão.

Mesmo com essa alteração de posicionamento das tubulações sugere-se uma verificação semestral das condições das tubulações como medida preventiva à possíveis entupimentos.

Notou-se que apesar da alta carga hidráulica o leito de pedras não entupiu, fato que comprova os resultados obtidos nas experiências de MANIOS et al (2003), que a brita de maior diâmetro quando utilizada como meio filtrante previne a ocorrência de entupimentos ao longo do leito, mas também dificulta o pleno desenvolvimento das macrófitas.

O registro diário e preciso das vazões afluente e efluente é fundamental para se mensurar a performance do leito como unidade de tratamento terciário. Bem como aumentar os pontos de monitoramento ao longo do leito de macrófitas e passar a monitorar mensalmente os parâmetros sólidos suspensos voláteis, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos, nitrogênio total kjedal, fosfato total e coliformes totais e fecais, todos parâmetros não solicitados pela Cetesb no programa de auto-monitoramento da indústria porém necessários para um melhor acompanhamento do comportamento da unidade de tratamento.

Aumentar a quantidade de plantas no leito, o também é uma medida necessária visto que não houve a ocupação de toda a área do leito por novos brotos da planta (*typha*) como se esperava inicialmente, fato que está sendo atribuído ao meio filtrante escolhido, a brita número 4. Apesar de que as plantas colocadas no leito atingiram grande porte e excelente aspecto.

Sugere-se que novas mudas sejam coletadas nas imediações e conforme as primeiras, sejam plantadas no leito a fim de incrementarem a remoção de nitrogênio e fósforo, presentes em abundância neste efluente industrial.

Notou-se que o leito de macrófitas atraiu mais pássaros e animais como pequenos anfíbios para a área.

VI - Conclusões

Carga orgânica afluyente elevada.

Carga hidráulica além da capacidade dimensionada em alguns períodos (JAN/04).

Devido às características do afluyente o leito de macrófitas funcionou como unidade de tratamento secundário (biológico).

Existe a necessidade de melhorar a capacidade de tratamento do sistema secundário para que o leito receba um afluyente apropriado para um polimento final.

Apesar da alta carga hidráulica o leito não apresentou entupimentos.

Leito de macrófitas teve boa performance de remoção de sólidos suspensos.

A remoção de nutrientes atingiu índices baixos (30%N e 20%P).

Afluyente com alta concentração de [N] e [P].

Baixa concentração de plantas no leito (1 pé de Typha/m²).

Efluyente final com carga orgânica elevada (média 130 mg/L DBO).

Reuso apenas para irrigação de áreas verdes.

É necessário fazer o monitoramento mensal de todos os parâmetros para que se possa ter um acompanhamento adequado e identificar as melhorias necessárias.

A falta de investimento no monitoramento dificulta o acompanhamento da performance do leito de macrófitas;

VII - Bibliografia

APHA; AWWA & WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 19^a edição, Washington D. C./USA, American Public Health Association, 1995.

ARMSTRONG, N.; ARMSTRONG, J. & BECKETT, P. M. “Measurements and modelling of oxygen release from roots of Phragmites australis.” **Constructed Wetlands in Water Pollution Control** (Adv. Wat. Pollut. Control no 11) Pergamon Press, Oxford/UK, pp. 41-51. 1990.

BRIX, H. “Function of macrophytes in constructed wetlands.” **Wat. Sci. and Tech.**, vol 29, n^o 4, pp. 71-78, 1994.

GUNTENSPERGEN, G. R., STEARNS, F. & KADLEC, J. A. “Wetland vegetation”. Anais: 1st **International Conference on Constructed Wetlands for Wastewater Treatment**, Chattanooga – Tennessee/USA, vol. I, n^o 5, pp. 73-88, junho/1988.

JOLY, A. B. “Botânica: introdução à taxonomia vegetal.” 5^a edição, São Paulo/SP, Ed. Nacional, 1979. 465p.

LORENZI, H. “Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais.” Edição do autor. Nova Odessa/SP, 1982. 425p.

MANCUSO, Pedro C. S.; SANTOS, Hilton F. “Reúso de água.” 1^a Edição, São Paulo 2003.

MANIOS ET AL.”The removal of chemical oxygen demand from primary-treated domestic wastewater in subsurface-flow reed beds using different substrates” **Water Environment Research**.vol. 75 number 4, pp 336-341. July/August 2003.

METCALF & EDDY. “Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse.” 3 ed., Metcalf & Eddy Inc., 1991. 1334p.

REBOUÇAS, Aldo C.; BRAGA, Benedito; TUNDISI, José G. “Águas doces no Brasil capital ecológico, uso e conservação.” 2ª edição, Ed. Escrituras, São Paulo 2002.

REED, S. C.; CRITES, R. W.; MIDDLEBROOKS, E. J. “Natural systems for waste manegement and treatment.” 2ª edição, McGraw-Hill, 1995. 434 p.

SIMI, Anne L & MITCHELL, Cynthia A. “Design and hidraulic performance of a constructed wetland treating oil refinery wastewater.” **Water Science and Technology**, vol 40 NUM 03 , IAWQ 1999

U.S.E.P.A. “Design manual on constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment.” EPA/625/1-88/022, CERL, Cincinnati – OH/USA, 1988. 83p.

UNITED NATIONS. “Water for Industrial Use”, Economic and Social Council, Report E/3058STECA/50, United Nations, New York, 1985.

VON SPERLING, M. “Princípios do tratamento biológico de águas residuárias Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos”, Depto. Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, Belo Horizonte/MG, 2ª ed., vol. 1, 1996. 243 p.

VYMAJAL, J. “Types of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment” .
Conferência: 6th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution
Control, Águas de São Pedro/SP, out/1998.

WOOD, R. B. & McATAMNEY, C. F. “The use of macrophytes in bioremediation”.
Biotech. Adv., vol. 12, pp. 653-662, 1994.