



Universidade Estadual Paulista  
"Júlio de Mesquita Filho"  
Programa Interunidades



Mestrado

---

Engenharia Civil e Ambiental

**THAIS VON DREIFUS**

**TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS POR ALAGADOS  
CONSTRUÍDOS DE FLUXO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL,  
UTILIZANDO VETIVER (*Chrysopogon zizanoides* L.): AVALIAÇÃO  
E DESEMPENHO DE TRÊS LEITOS DISTINTOS.**

Bauru  
2012

**THAIS VON DREIFUS**

**TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS POR ALAGADOS  
CONSTRUÍDOS DE FLUXO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL,  
UTILIZANDO VETIVER (*Chrysopogon zizanoides* L.): AVALIAÇÃO  
E DESEMPENHO DE TRÊS LEITOS DISTINTOS.**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração Saneamento.

**Orientador: Prof. Dr. Eduardo Luiz  
de Oliveira**

Bauru  
2012

Von Dreifus, Thais.

Tratamento de águas residuárias por alagados  
construídos (*wetlands*) de fluxo subsuperficial  
horizontal, utilizando vetiver (*chrysopogon zizanoides*  
L.): avaliação e desempenho de três leitos distintos.  
Thais Von Dreifus/ Bauru, 2012.

84 f. Il.

Orientador: Eduardo Luiz de Oliveira

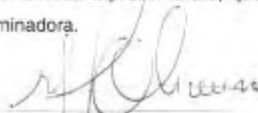
Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual  
Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2012.

1. Alagados Construídos. 2. Wetlands. 3.  
Tratamento de águas Residuárias. I. Universidade  
Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II.  
Título.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE THAIS VON DREIFUS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.**

Aos 16 dias do mês de julho do ano de 2012, às 16:00 horas, no(a) ANFITEATRO DA SEÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA FACULDADE DE ENGENHARIA, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. EDUARDO LUIZ DE OLIVEIRA do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Profa. Dra. GISELDA PASSOS GIAFFERIS do(a) Diretora do Serviço de Tratamento de Esgoto / Departamento de Água e Esgoto - DAE Bauru, Profa. Dra. ILZA MACHADO KAISER do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de THAIS VON DREIFUS, intitulada "TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS POR ALAGADOS CONSTRUÍDOS DE FLUXO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL, UTILIZANDO VETIVER (CHRYSOPOGON ZIZANOIDES L.): AVALIAÇÃO E DESEMPENHO DE TRÊS LEITOS DISTINTOS". Após a exposição, a discente foi argüida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: \_\_\_\_\_ APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

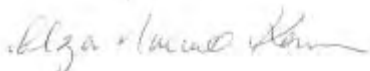
Prof. Dr. EDUARDO LUIZ DE OLIVEIRA



Profa. Dra. GISELDA PASSOS GIAFFERIS



Profa. Dra. ILZA MACHADO KAISER



*Dedico este trabalho:*

*Aos meus pais Solange e Edson,  
que nunca mediram esforços para  
que eu pudesse realizar todos os  
meus sonhos;*

*As minhas irmãs Cristine e Driele  
pelo amor e carinho;*

*Ao Juliano, pelo amor e  
compreensão que sempre me  
incentivou.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus que me deu força, saúde e perseverança para a realização deste trabalho;

À Fundação Capes pela concessão da bolsa de estudos durante o Mestrado;

Agradeço a minha família que, mesmo distante, em nenhum momento me deixou desamparada. Em especial, aos meus pais Solange e Edson pelo apoio, e educação proporcionados a mim, e por terem contribuído para que eu fosse uma pessoa determinada em relação aos meus objetivos de vida;

Ao Prof. Dr. Eduardo Luiz de Oliveira pela oportunidade e pelos conhecimentos transmitidos durante sua orientação, mas principalmente por seus conselhos, carinho e amizade;

Ao Prof. Dr. Gustavo Henrique Ribeiro Silva pela atenção e colaboração com o trabalho;

As amigas e companheiras de mestrado Larissa, Maria Clara, Rosiane e Patrícia, pela ajuda, pelos momentos de risadas e descontração.

A minha amiga Natália, que mesmo longe, sempre me apoiou, socorreu e esteve presente durante todo este mestrado.

A todos que ajudaram de forma direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho.

## Resumo

Esta pesquisa visa o tratamento de águas residuárias através de Sistemas de Alagados Construídos (*Wetlands*) de fluxo subsuperficial e escoamento horizontal. O principal objetivo deste sistema é a remoção da matéria orgânica, uma vez que, a matéria carbonácea presente no esgoto é degradada, tanto aerobicamente por microrganismos que estão aderidos nas raízes das macrófitas quanto, anaerobicamente pelas bactérias aderidas no substrato do leito filtrante. A estação de tratamento de esgoto por Alagados Construídos está localizada na cidade de Bauru-SP e trata o esgoto produzido pela Moradia Estudantil e pelo Campus do Departamento de Educação Física da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Para uma melhor condição de estudo são utilizados três sistemas de leitos com 9m de comprimento por 4,5m de largura e 0,80m de profundidade e inclinação de 1%. Os leitos foram compostos por diferentes substratos: o primeiro, preenchido com brita nº1, brita nº 3 e areia grossa, o segundo preenchido com pedrisco, poliestireno expandido (isopor) moído e reciclado e areia grossa, e o terceiro com brita nº 3 e areia grossa. Com o uso desses diferentes substratos foi possível avaliar em duas etapas de análise, qual deles apresenta os melhores resultados e condições para o tratamento de águas residuárias. A eficiência média de remoção de DBO foi de 85,6% para o leito de brita, 84,2% para o leito de isopor e 85,4% para o leito de areia. A remoção de fosfato teve média de eficiência de 53,3% para o leito de brita, 9,6 % para o leito de isopor e 89% para o leito de areia. Para o nitrogênio total Kjeldahl a eficiência média de remoção foi de 75,7% para o leito de brita, 77,0 % para o leito de isopor e 75,3% para o leito de areia. No geral todo o sistema se mostrou eficiente para o tratamento de águas residuárias, porém o leito de isopor se destacou por se tratar de um material alternativo e reciclado.

## **Abstract**

This research aims at the wastewater treatment systems using constructed wetlands of subsurface flow and horizontal flow. The main objective of this system is the removal of organic matter, since the carbonaceous matter present in the sewage is degraded, both aerobically by microorganisms which are adhered on the roots of macrophytes, anaerobically by bacteria adhered to the substrate of the filter bed. The sewage treatment plant by Constructed Wetlands is located in the city of Bauru, SP, and treats the sewage produced by the students' home and Department of Physical Education, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP). For a better quality studies are used three-bed systems with 9m long by 4.5 m wide and 0.80 m depth and inclination of 1%. The beds were made up of different substrates: the first, filled with gravel No. 1, No. 3 crushed stone and sand, the second filled with gravel, expanded polystyrene (Styrofoam) and recycled crushed and coarse sand, gravel and the third paragraph 3 and coarse sand. Using these substrates could be assessed in two stages of analysis, which one gives the best results and conditions for the treatment of wastewater. The average efficiency of BOD removal was 85.6% for the bed of crushed rock, 84.2% for the foam bed and 85.4% for the sand bed. The removal efficiency phosphate averaged 53.3% for the gravel bed, the bed to 9.6% of polystyrene and 89% for the sand bed. For the Kjeldahl nitrogen removal efficiency was an average of 75.7% for the bed of gravel, 77.0% for the bed of Styrofoam and 75.3% for the sand bed. In general the whole system is efficient for the treatment of wastewater, but the bed of Styrofoam stand out because it is an alternative material and recycled.



## Sumário

|                                                                                         |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>RESUMO.....</b>                                                                      | <b>VII</b> |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>                                                          | <b>XI</b>  |
| <b>ÍNDICE DE TABELAS.....</b>                                                           | <b>XII</b> |
| <b>ÍNDICE DE GRÁFICOS.....</b>                                                          | <b>XII</b> |
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                               | <b>1</b>   |
| <b>2 OBJETIVOS.....</b>                                                                 | <b>3</b>   |
| 2.1 GERAL .....                                                                         | 3          |
| 2.1.1 Específicos.....                                                                  | 3          |
| <b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>                                                     | <b>4</b>   |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS .....                                          | 4          |
| 3.2 ALAGADOS NATURAIS .....                                                             | 6          |
| 3.3 ALAGADOS CONSTRUÍDOS .....                                                          | 8          |
| 3.3.1 <i>Sistemas de fluxo superficial</i> .....                                        | 10         |
| 3.3.2 <i>Sistemas de fluxo subsuperficial</i> .....                                     | 11         |
| 3.3.3 <i>Sistemas híbridos</i> .....                                                    | 14         |
| 3.3.4 <i>Tipos de Vegetação</i> .....                                                   | 15         |
| 3.3.5 <i>Capim Vetiver (Chrysopogon zizanioides L.)</i> .....                           | 16         |
| 3.3.6 <i>Meio Suporte</i> .....                                                         | 19         |
| 3.4 MECANISMOS DE REMOÇÃO DOS PRINCIPAIS POLUENTES.....                                 | 19         |
| 3.4.1 <i>Processo de depuração da matéria orgânica</i> .....                            | 19         |
| 3.4.2 <i>Nitrogênio</i> .....                                                           | 22         |
| 3.4.3 <i>Fósforo</i> .....                                                              | 23         |
| 3.4.4 <i>Biomassa microbiana</i> .....                                                  | 24         |
| <b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>                                                       | <b>26</b>  |
| 4.1 AFLUENTE.....                                                                       | 26         |
| 4.2 A ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE) .....                                       | 27         |
| 4.2.1 <i>Alagados construídos de fluxo subsuperficial e escoamento horizontal</i> ..... | 31         |
| 4.2.2 <i>Monitoramento do sistema e análise dos resultados</i> .....                    | 36         |
| 4.2.3 <i>Tempo de detenção hidráulica</i> .....                                         | 39         |
| 4.2.4 <i>Cálculo das Taxas de Eficiência de Remoção</i> .....                           | 40         |
| 4.2.5 <i>Delineamento estatístico</i> .....                                             | 40         |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                                   | <b>41</b>  |

|        |                                               |    |
|--------|-----------------------------------------------|----|
| 5.1    | MONITORAMENTO .....                           | 41 |
| 5.2    | ANÁLISE DO MONITORAMENTO .....                | 41 |
| 5.2.1  | <i>Vegetação</i> .....                        | 41 |
| 5.2.2  | <i>Dados meteorológicos</i> .....             | 43 |
| 5.2.3  | <i>Demanda Bioquímica de oxigênio</i> .....   | 45 |
| 5.2.4  | <i>Demanda Química de Oxigênio</i> .....      | 46 |
| 5.2.5  | <i>Remoção de sólidos</i> .....               | 48 |
| 5.2.6  | <i>Cor</i> .....                              | 49 |
| 5.2.7  | <i>Oxigênio dissolvido</i> .....              | 51 |
| 5.2.8  | <i>pH, Alcalinidade e Condutividade</i> ..... | 52 |
| 5.2.9  | <i>Nutrientes</i> .....                       | 55 |
| 5.2.10 | <i>Coliformes</i> .....                       | 62 |
| 6      | CONCLUSÕES .....                              | 66 |
| 7      | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....              | 67 |

## Índice de Figuras

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 Sistema wetland natural .....                                               | 8  |
| Figura 2 Classificação dos Wetlands.....                                             | 10 |
| Figura 3 <i>Wetland</i> de fluxo superficial .....                                   | 11 |
| Figura 4 <i>Wetland</i> de fluxo supsuperficial.....                                 | 12 |
| Figura 5 Wetland de escoamento horizontal .....                                      | 13 |
| Figura 6 Wetland de escoamento vertical.....                                         | 14 |
| Figura 7 Capim Vetiver .....                                                         | 18 |
| Figura 8 Processos de transformações do N em sistemas <i>wetlands</i> .....          | 22 |
| Figura 9 Processos de transformação do fósforo em <i>wetlands</i> .....              | 24 |
| Figura 10 Representação esquemática de um biofilme .....                             | 25 |
| Figura 11 Localização da ETE por Alagados Construídos. ....                          | 27 |
| Figura 12 Esquema Geral da ETE .....                                                 | 28 |
| Figura 13 Grade e peneira estática .....                                             | 29 |
| Figura 14 Decantador Primário .....                                                  | 30 |
| Figura 15 Caixa divisória de vazão .....                                             | 30 |
| Figura 16 Alagados Construídos de Fluxo Horizontal e escoamento subsuperficial ..... | 31 |
| Figura 17 Distribuição do substrato em cada leito .....                              | 32 |
| Figura 18 Detalhes da escavação dos leitos. ....                                     | 33 |
| Figura 19 Impermeabilização dos leitos.....                                          | 34 |
| Figura 20 Colocação do material de substrato.....                                    | 34 |
| Figura 21 (a) Tubulação de entrada do efluente;.....                                 | 35 |
| Figura 22 (a) Capim Vetiver plantados nos leitos .....                               | 36 |
| Figura 23 Pontos de coleta.....                                                      | 37 |
| Figura 24 Frascos de coleta .....                                                    | 38 |
| Figura 25 (a) Mudas quando foram plantadas .....                                     | 42 |
| Figura 26 Temperatura média.....                                                     | 44 |
| Figura 27 Precipitação acumulada.....                                                | 44 |

## Índice de Tabelas

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 Resumo comparativo das características dos sistemas subsuperficiais ..... | 15 |
| Tabela 2 Características do <i>Chrysopogon zizanioides</i> L .....                 | 17 |
| Tabela 3 Métodos e aparelhos utilizados em cada parâmetro .....                    | 38 |
| Tabela 4 Altura média das plantas dos leitos .....                                 | 41 |

## Índice de Gráficos

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1 Concentração de DBO na primeira fase de análise .....                  | 45 |
| Gráfico 2 Concentração de DBO na segunda fase de análise.....                    | 46 |
| Gráfico 3 Concentração de DQO na primeira fase de análise .....                  | 47 |
| Gráfico 4 Concentração de DQO na segunda fase .....                              | 47 |
| Gráfico 5 Concentração de STD na primeira fase .....                             | 48 |
| Gráfico 6 Concentração de STD na segunda fase .....                              | 49 |
| Gráfico 7 Valores de cor verdadeira para a primeira fase .....                   | 50 |
| Gráfico 8 Valores de cor verdadeira para a segunda fase.....                     | 50 |
| Gráfico 9 Concentração de OD na primeira fase de análise.....                    | 51 |
| Gráfico 10 Concentração de OD na segunda fase de análise .....                   | 52 |
| Gráfico 11 Valores de pH na primeira fase de análise .....                       | 53 |
| Gráfico 12 Valores de pH na segunda fase de análise.....                         | 53 |
| Gráfico 13 Concentração de alcalinidade na primeira fase de análise .....        | 54 |
| Gráfico 14 Concentração de alcalinidade na segunda fase de análise.....          | 54 |
| Gráfico 16 Concentração de fosfato na segunda fase de análise .....              | 56 |
| Gráfico 17 Concentração de nitrogênio amoniacal na primeira fase de análise..... | 57 |
| Gráfico 18 Concentração de nitrogênio amoniacal na segunda fase de análise ..... | 57 |
| Gráfico 19 Concentração de NTK na primeira fase de análise .....                 | 58 |
| Gráfico 20 Concentração de NTK na segunda fase de análise.....                   | 59 |
| Gráfico 21 Concentração de nitrato na primeira fase de análise .....             | 60 |
| Gráfico 22 Concentração de nitrato na segunda fase de análise.....               | 60 |
| Gráfico 23 Concentração de nitrito na primeira fase de análise.....              | 61 |
| Gráfico 24 Concentração de nitrito na segunda fase de análise .....              | 62 |
| Gráfico 25 Concentração de coliformes totais na primeira fase de análise.....    | 63 |

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 26 Concentração de coliformes totais na segunda fase de análise .....          | 64 |
| Gráfico 27 Concentração de coliformes termotolerantes na primeira fase de análise..... | 65 |
| Gráfico 28 Concentração de coliformes termotolerantes na segunda fase de análise ..... | 65 |

## 1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água doce de qualidade vem se tornando cada vez mais escassa devido à falta de planejamento de seus usos. Ela é importante para atender a população em suas atividades mais básicas, no desenvolvimento de atividades e serviços ou, até em usos menos nobres, como descarga de resíduos pelos homens.

O principal motivo da degradação dos recursos hídricos ocorre devido à ausência de ações de planejamento nos diversos usos da água juntamente à ausência de tratamento dos efluentes gerados pelas cidades e propriedades rurais. (SILVA et al., 2001).

Em 2008 segundo um levantamento feito pelo SNIS (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SABEAMENTO), no Brasil 83,1% dos municípios são atendidos com os serviços de água e 26,4% com serviços de esgotos.

Devido à situação sócio-econômica brasileira, são inevitáveis os investimentos no desenvolvimento de tecnologias alternativas com aceitabilidade pela população, de baixo custo e alta eficiência para o tratamento das águas residuárias. A utilização de espécies vegetais no tratamento de águas residuárias tem se revelado uma alternativa eficiente, produzindo um efluente com qualidade para reúso não potável. Segundo Brix (1994), esses sistemas podem ser implementados no mesmo local onde o efluente é produzido, podem ser operados por mão de obra não especializada, possuem baixo custo energético e são menos susceptíveis às variações nas taxas de aplicação de esgoto. Sua principal desvantagem está na maior necessidade de área (BRIX, 1993), o que nem sempre é um fator limitante, especialmente no Brasil, país de grandes extensões territoriais.

Dentre as alternativas que utilizam espécies vegetais para o tratamento de efluentes, será destacado o uso dos Sistemas Alagados Construídos (SAC) ou Sistemas *Wetlands* Construídos, este proporciona integração a parques, sistemas recreativos, desenvolvimento de animais silvestres e harmonia paisagística (MEIRA, 2004).

Os SAC's reproduzem os processos naturais que ocorrem em sistemas de alagados naturais para depuração das águas residuárias, a diferença está na utilização da tecnologia

com o objetivo de fazer com que o processo ocorra em condições controladas e em taxas mais elevadas, com baixo risco de contaminação ambiental. Os sistemas são constituídos basicamente por: macrófitas aquáticas, substrato e o biofilme de bactérias. Os SAC's naturais como pântanos, mangues e brejos, são ecossistemas que seu terreno esta constantemente saturado e submerso em água garantindo assim a sobrevivência da vegetação já adaptada a estas condições (USEPA, 1993).

Estudos com áreas alagadas construídas na Europa têm mostrado que sistemas com taxa de aplicação de  $5 \text{ m}^3/\text{hab.dia}$  de esgoto doméstico possuem capacidade de remoção de 80-95% da demanda química de oxigênio (DQO) e  $\text{DBO}_5$ , 35% do nitrogênio (N); e 25% do fósforo (P) ( SCHIERUP et al.,1990, VERHOEVEN e MEULEMAN, 1999).

Pouco se tem avaliado o funcionamento e a eficiência desses sistemas em países em desenvolvimento com clima tropical, tão diverso do clima onde esses sistemas foram concebidos.

Portanto, com o intuito de se desenvolver um estudo mais aprofundado para gerar parâmetros e padrões dos sistemas de alagados construídos em clima tropical e conseqüentemente proteger os recursos naturais, foi construído um Sistema de Alagados Construídos de fluxo subsuperficial e escoamento horizontal, como tratamento secundário do efluente sanitário oriundo de um tratamento preliminar composto por: grade, decantador primário e peneira estática visando à redução da carga orgânica.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Geral

O objetivo principal desta pesquisa foi investigar o desempenho de um sistema de alagados construídos fluxo subsuperficial e escoamento horizontal, para o tratamento de efluente provindo do departamento de educação física e da Moradia Estudantil da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” *campus* de Bauru.

#### 2.1.1 *Específicos*

- Verificar a eficiência no processo de remoção da matéria orgânica em cada leito com diferentes substratos;
- Avaliar e comparar os leitos compostos por diferentes substratos por meio dos seguintes parâmetros: pH, Oxigênio dissolvido (OD), Temperatura, Sólidos Suspensos Totais (SST), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda química de oxigênio (DQO), Cor verdadeira, Nitrogênio Total (NTK), Nitrogênio amoniacal ( $\text{N-NH}_3$ ), Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), Fosfato ( $\text{PO}_4$ ), Coliformes Termotolerantes e Totais, Alcalinidade total e Condutividade Elétrica (CE).



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Caracterização das águas residuárias

As características das águas residuárias variam tanto qualitativamente quanto quantitativamente dependendo do uso que tiveram, dependendo também de inúmeros outros fatores como: a região atendida, as atividades desenvolvidas, hábitos de higiene, nível sócio-econômico, nível cultural entre outros (VON SPERLING, 2005).

O esgoto sanitário é composto por despejos domésticos, uma parcela de águas pluviais, águas de infiltração e pode haver ainda porção de despejos industriais, tendo características bem definidas. Já o esgoto industrial provém de qualquer utilização de água para fins industriais. (JORDÃO E PESSÔA, 2005).

Segundo Von Sperling (2005) é utilizado na caracterização de águas residuárias parâmetros indiretos que traduzam o caráter ou potencial poluidor do despejo. Os principais parâmetros são:

- Sólidos;
- Indicadores de matéria orgânica;
- Nitrogênio;
- Fósforo;
- Indicadores de contaminação fecal.

A matéria orgânica presente nas águas residuárias é a principal causadora de poluição em corpos d'água, pois há o consumo de oxigênio dissolvido pelos microrganismos no processo de estabilização. As substâncias orgânicas nos esgotos são constituídas principalmente por: compostos de proteínas, carboidratos, gordura e óleos e uréia, surfactantes, fenóis, pesticidas, metais e outros (METCALF & EDDY, 2003).

Porém usualmente se determina a matéria orgânica por métodos diretos ou indiretos como:

- Métodos indiretos: medição do consumo de oxigênio
  - Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO);
  - Demanda Bioquímica Última de Oxigênio (DBOu) e;
  - Demanda Química de Oxigênio (DQO).
- Métodos diretos: medição do carbono orgânico,
  - Carbono Orgânico Total (COT).

Os métodos indiretos retratam a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar a matéria orgânica, através de processos bioquímicos e químicos. Já os métodos diretos medem o carbono liberado na forma de CO<sub>2</sub> (VON SPERLING, 2005).

A determinação da forma predominante do nitrogênio diz o estágio de poluição do corpo d'água, poluições recentes terá nitrogênio orgânico ou amônia, já mais antigas conterá concentrações mais elevadas de nitrato ( VON SPERLING, 2005).

O fósforo é um nutriente importante no crescimento dos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica e algas podendo assim, conduzir a eutrofização de lagos e represas.

Os microrganismos presentes nas águas residuárias podem ser saprófitas, comensais, simbiontes ou parasitos. Porém apenas os parasitos são capazes de causar doenças no homem, associados com a água ou com as fezes, os principais são:

- Bactérias;
- Vírus;
- Protozoários;
- Helmintos.

A origem desses agentes patogênicos no esgoto é humana, refletindo assim o nível de saúde da população.

Segundo Cairncross e Feachem, 1990; Heller,1997, as doenças relacionadas com a água apresentam basicamente quatro tipos de transmissão:

- Transmissão hídrica: ocorre quando o organismo patogênico encontra-se na água que é ingerida;
- Transmissão relacionada com a higiene: identificada como aquela que pode ser interrompida pela implantação de higiene pessoal e doméstica;
- Transmissão baseada na água: caracterizada quando o patógeno desenvolve parte de seu ciclo vital em um animal aquático;
- Transmissão por um inseto vetor: na qual insetos que procriam na água ou cuja picadura ocorre próximo a ela são os transmissões

### 3.2 Alagados Naturais

Alagados naturais ou *wetlands* (termo em inglês) são uns dos ecossistemas mais produtivos sendo capazes de transformar poluentes encontrados em águas residuárias, em produtos inofensivos ou em nutrientes essenciais utilizados para uma produtividade biológica adicional (KADLEC & KNIGHT, 1996).

As áreas alagadas naturais ocupam somente cerca de 2% da área global total, porém segundo Armentado (1980) apud Odum (1983), estes ecossistemas contem de 10 a 14% do carbono total do planeta. Como o sistema funciona de forma estratificada, aeróbio-anaeróbia nos sedimentos, a ciclagem de compostos como enxofre, nitrogênio, fósforo e carbono é relevante (PHILIPPI E SEZERINO, 2004).

São locais conhecidos como as várzeas, os igapós da Amazônia, os banhados, os pântanos, as formações lacustres de baixa profundidade em parte ou no todo, as grandes ou pequenas áreas com lençol freático muito alto, porém nem sempre com afloramento superficial, os manguezais, entre outros (SALATI, 1999).

Segundo Hammer e Bastian (1989), *wetlands* são áreas de transição entre sistemas aquáticos e terrestres onde a água é o fator dominante do desenvolvimento dos solos e da comunidade biológica associada, e onde, ao menos periodicamente, o nível das águas está na ou próximo da superfície, ou o solo é coberto por uma camada rasa de água. Estes sistemas têm importantes funções dentro dos ecossistemas, entre as quais se destacam:

- A capacidade de regularização dos fluxos de água, amortecendo os picos de enchentes;
- A capacidade de modificar e controlar a qualidade das águas;
- Sua importância na função de reprodução e alimentação da fauna aquática, incluindo os peixes;
- A proteção à biodiversidade como área de refúgio da fauna terrestre;
- O controle da erosão, evitando o assoreamento dos rios.

Segundo Kadlec & Knight (1999), em processos mecanizados se utiliza energia elétrica e insumos industrializados, os sistemas naturais se valem da energia solar, ação dos ventos, equilíbrios gasosos entre meio líquido e aéreo, atividades bioquímicas de crescimento de biomassa, etc. A energia consumida para o tratamento dos efluentes nos sistemas naturais é equivalente àquela utilizada nos processos mecanizados, a diferença vem da fonte de energia utilizada. Essa diferença nas fontes de energias empregadas faz com que os espaços requeridos por ambas as concepções sejam opostos. Enquanto os

processos mecanizados ocupam pequenas áreas, os sistemas naturais, devido às características da matriz energética empregada, devem ocupar áreas significativamente maiores para tratar a mesma quantidade de efluente. Ou seja, sistemas mecanizados são intensos em energia, enquanto sistemas naturais são intensos em área.

A Convenção de Ramsar, ocorrida em 1971 na cidade Iraniana Ramsar, teve como objetivo proteger as áreas úmidas. Ficou estabelecido um acordo intergovernamental dos países-membros com o compromisso de manter o caráter ecológico de suas áreas alagadas e para planejar o uso sustentável de todas as zonas úmidas em seus territórios. O Brasil assinou o acordo em 24 de setembro de 1993 e possui onze sítios Ramsar (áreas protegidas), com 6.568.359 hectares. Atualmente, 160 países participam do acordo, e a lista de zonas úmidas de importância internacional é composta por 1950 sítios, somando uma área total de 190.136. 612 hectares. (THE RAMSAR CONVENTION ON WETLANDS, 2011).

Basicamente quatro elementos compõem um ambiente wetlands: solo, plantas, regime hidráulico e fauna. Segundo Hammer (1989), o solo interage de várias formas como: suporte físico para plantas dispõe de uma considerável área superficial reativa que pode complexar íons, anions e outros componentes, serve como meio de aderência para a população microbiana. Quando usado na remoção de poluentes promove a remoção de compostos orgânicos e inorgânicos através de processos físicos (CONLEY ET AL., 1991).

As plantas são essências para a manutenção dos wetlands, as raízes, rizomas e caules podem suportar uma grande quantidade de microorganismos, aumentando significativamente a área de contato e aderência para a formação do biofilme, são capazes de transportar gases atmosféricos, inclusive oxigênio, promovendo assim a degradação aeróbia da matéria orgânica e a transformação de nutrientes (HAMMER, 1989).

O tempo em que o sistema permanece ou não inundado irá selecionar naturalmente as plantas e a vida animal ali presente, a saturação ou não do solo, irá, também, indicar as condições de oxigenação, e conseqüentemente, a via bioquímica predominante no processo de degradação da matéria orgânica (PHILIPPI E SEZERINO, 2004).

Uma quantidade imensurável de bactérias, protozoários, fungos e animais, micro e macro organismos, estão presentes neste tipo de ecossistema. Quando se utiliza o sistema no tratamento de efluentes, os quimioautotrófos como bactérias dos gêneros *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Beggiatoa*, *Thiobacillus*, *Pseudomonas*, entre outras, estes obtêm energia de compostos orgânicos, presente nos efluentes, e utilizam estes compostos para síntese

celular (KADLEC E KNIGHT, 1996). Por meio da figura 1 é possível visualizar a formação de um sistema *wetland* natural.

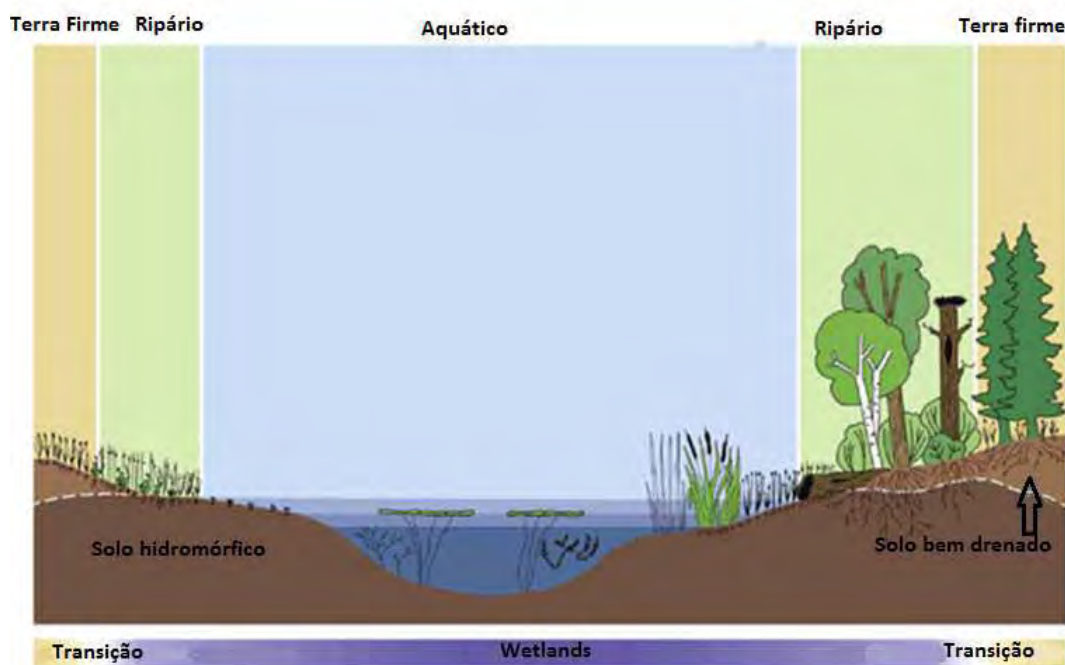


Figura 1 Sistema wetland natural

Fonte: TSUHAKE, 2009.

### 3.3 Alagados construídos

Segundo Masi (2004) apud Silva (2007), o primeiro experimento com alagados construído projetado foi em 1952, pelo Instituto Max Planck ("Max Planck Institute"), localizado em Pion, na Alemanha. Porém, somente em 1977 foi construído, em Othfresen - Alemanha, um sistema em escala real para o tratamento de águas residuárias urbanas.

Segundo Rodrigues (1999), na década de 80, foram utilizados sistemas de alagados construídos na despoluição do rio Tamisa, na Inglaterra; e do rio Don, no Canadá. No rio Mississippi, as macrófitas flutuantes (jacintos de água) absorveram 1.600kg de nitrogênio, 360 kg de fósforo, 12.300kg de fenóis e 43kg de oligoelementos (minerais como zinco, cobre e outros) altamente tóxicos.

Os sistemas de Tratamento de Esgotos por Alagados Construídos podem ser considerados, como um método de tratamento que utiliza tecnologia simples, de fácil operação e custo baixo, por se tratar de um sistema que reproduz o que já acontece normalmente na natureza. Os SAC's constituem sistemas físico-biológicos idealizados

segundo a lógica da utilização dos biofiltros constituídos pelas raízes das plantas. Nele ocorre principalmente, boa ciclagem de nutrientes, remoção da matéria orgânica e diminuição dos microrganismos patogênicos presentes nas águas residuárias (COSTA, et al., 2003).

São projetados para utilizar plantas cultivadas em substratos (solo, areia, brita ou cascalho), onde, naturalmente e sob condições ambientais adequadas, ocorrem processos físicos, químicos e bioquímicos de tratamento das águas residuárias. A água a ser tratada escoar por gravidade, horizontalmente ou verticalmente, através do substrato do leito. O fundo do leito possui uma pequena inclinação, em geral 1%. (NAIME e GARCIA, 2005).

Alagados construídos, ao contrário dos naturais, podem ser usados, sem que haja a constante preocupação com o sistema no tratamento de águas residuárias. Nos alagados construídos, o grau de controle é muito maior, permitindo que a experimentação quanto à composição do substrato, tipo de vegetação, padrão de fluxo, tempo de retenção e procedimento hidráulico conduza a melhor eficiência e desempenho do processo de tratamento (OLIVEIRA *et al.* 2005).

Os projetos de SAC's devem ser dimensionados em função das demandas e das condições locais. Deve-se levar em conta itens como: condições de drenagem e inundação, infiltração, permeabilidade, porosidade, regime hidráulico, aspectos legais e estéticos, e de geração potencial de aerossóis e odores.

A possibilidade de exploração paisagística do ambiente onde o sistema será inserido torna-o ainda mais interessante; afinal, a estética do local contribui para a aceitação da população, que passa a ver o local de tratamento de esgoto com menos restrições, senão com maior anuência. Sem contar na exploração de práticas de educação ambiental que podem ser realizadas no local junto à comunidade (AVELINO *et.al.*, 2011)

Os SAC's podem ser classificados de acordo com a posição do nível d'água em relação ao leito, a direção do fluxo hidráulico e o tipo de vegetação utilizado como representado na figura 2.

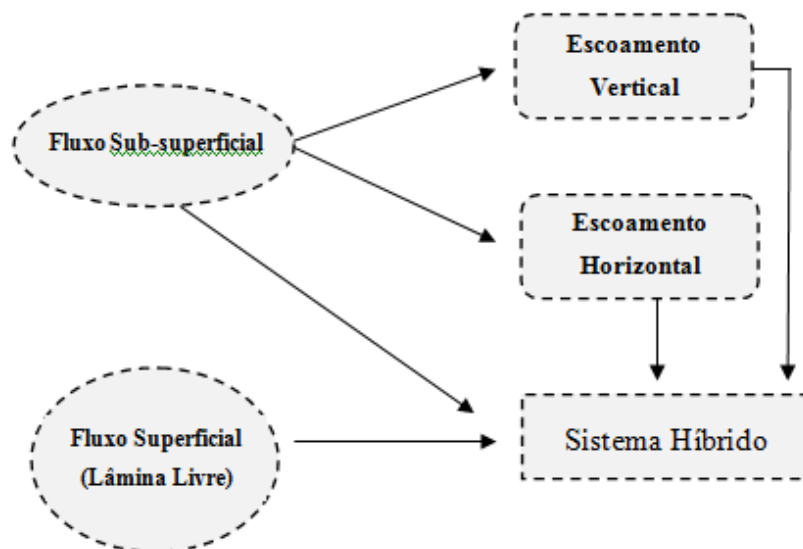


Figura 2 Classificação dos Wetlands

### 3.3.1 *Sistemas de fluxo superficial*

Sistema que mais se assemelha aos sistemas naturais, neste tipo de *wetlands* a superfície da água é exposta ao ar atmosférico. Os *wetlands* de fluxo superficial são lagos rasos e vegetados, construídos para explorar os processos físicos, químicos e biológicos, que ocorrem naturalmente em locais alagados, responsáveis pela redução nas quantidades de material orgânico, sólidos suspensos, nutrientes e organismos patogênicos presentes nas águas. A água flui livremente entre as folhas e caules das plantas expostas ao ar atmosférico (VON PERLING, 2005).

Na maioria das vezes é recomendável para tratamento terciário. A água flui a profundidades entre 0,1 e 0,3 m em canais com algum tipo de barreira subsuperficial. Este tipo de sistema é muito utilizado no tratamento de grandes volumes nos Estados Unidos (WOOD, 1995 E VYMAZAL, 1998 APUD VALENTIM, 1999).

Sistemas de lâmina livre se assemelham com as lagoas facultativas, em zonas de maior profundidade, o funcionamento é parecido com lagoas anaeróbias, sendo, também, dominados por microrganismos anaeróbios e ausência de luz (IWA SPECIALIST GROUP ON USE OF MACROPHITES, 2000).

Um esquema de SAC's com fluxo superficial é apresentado na Figura 3.

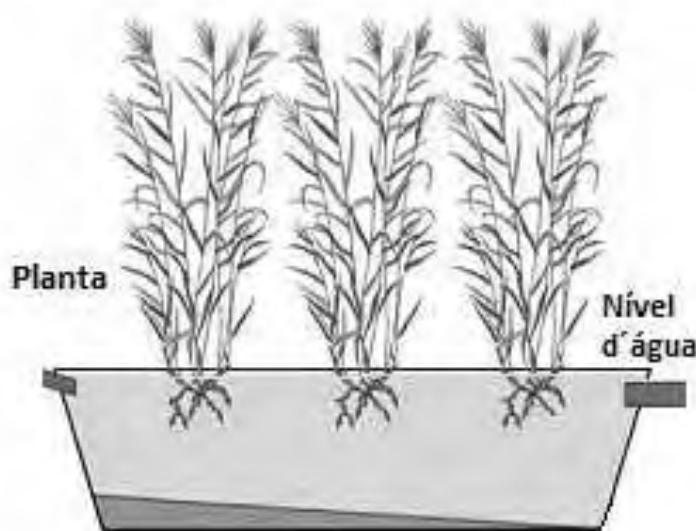


Figura 3 *Wetland* de fluxo superficial

Fonte: Adaptado de MASI e MARTINUZZI (2006)

### 3.3.2 *Sistemas de fluxo subsuperficial*

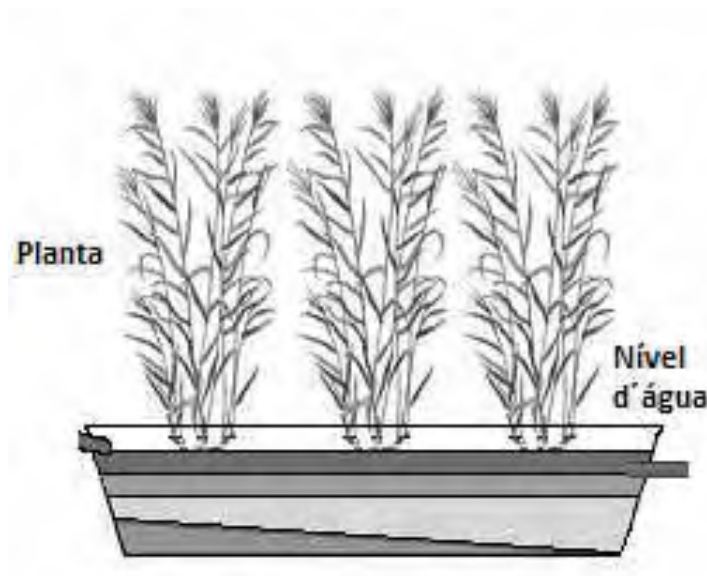
Neste tipo de sistema a superfície da lâmina d'água é mantida abaixo do nível do leito, com isto é minimizado o risco de geração de odores, exposição das águas residuárias ao homem ou aos animais e a proliferação de vetores, como insetos (USEPA 1993).

O esgoto, enquanto atravessa o meio suporte, entra em contato com uma malha de zonas anaeróbias, aeróbias e anóxicas onde é tratado, pela ação, principalmente, dos microrganismos que ali se desenvolvem, além de processos físico-químicos. As zonas aeróbias ocorrem nas proximidades das raízes e rizomas que introduzem oxigênio retirado da atmosfera no meio suporte (VYMAZAL 1998). Além disso, o meio suporte proporciona superfície para a adesão de biofilme funcionando como área ativa no tratamento dos efluentes, culminando na utilização de menores áreas quando comparados com outras concepções de wetlands (USEPA 1993).

Fluxo subsuperficial são geralmente usados para reduzir a DBO em efluentes domésticos. Suas vantagens são: maior tolerância ao frio, minimização dos problemas de pragas e odor e, possivelmente, maior potencial de tratamento por unidade de área do que sistemas de fluxo superficial. Quanto às desvantagens: maior custo de construção, manutenção e reparação, em relação aos alagados construídos de fluxo superficial, além de



que alguns sistemas apresentaram problemas com entupimentos. (DAVIS, 1995). A figura 4, apresenta um sistema de SAC's subsuperficial.



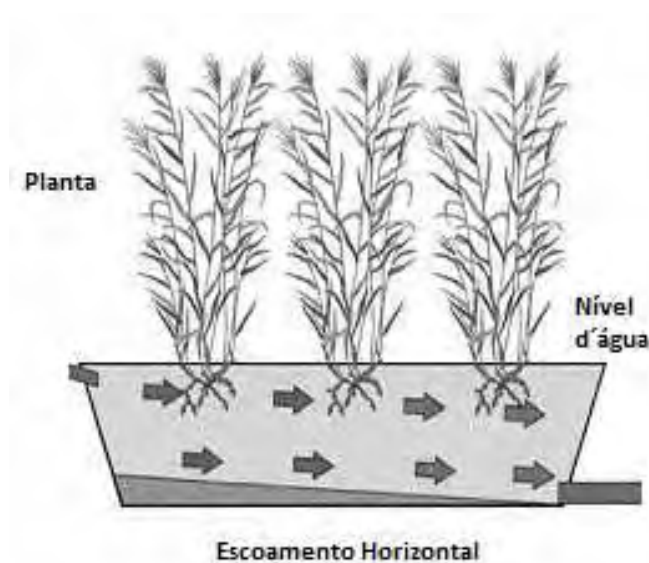
**Figura 4** *Wetland* de fluxo supsuperficial

Adaptado de MASI e MARTINUZZI (2006)

### **3.3.2.1 Escoamento Horizontal**

Segundo Cooper (1999), esse tipo de sistema é satisfatório para a remoção de sólidos suspensos e bactérias; remoção de DBO até uma determinada capacidade de transferência de oxigênio e desnitrificação. É pobre para a nitrificação no tratamento secundário, devido à sua limitada capacidade de transferência de oxigênio, mas produzem efluentes bem nitrificados no tratamento terciário.

O esgoto é disposto na porção inicial (entrada) e percola vagarosamente pelo material filtrante até a porção final, essa percolação tende a seguir na horizontal. O esgoto entra em contato com zonas aeróbias, anóxicas e anaeróbias. A zona aeróbia é mais evidente ao redor das raízes e rizomas das macrófitas aquáticas, uma vez que essas transportam oxigênio da parte aérea para as raízes, as zonas anóxicas e anaeróbias ocorrem nas camadas mais profundas do leito filtrante (COOPER et al. 1999; BRIX, 1997). A figura 5 ilustra um sistema de escoamento horizontal.



**Figura 5 Wetland de escoamento horizontal**

Adaptado de MASI e MARTINUZZI (2006)

### ***3.3.2.2 Escoamento Vertical***

Assim como no sistema de escoamento horizontal, as macrófitas aquáticas são plantadas diretamente no material de recheio. O efluente é disposto intermitentemente sob a superfície do leito, inundando-o e percolando verticalmente ao longo de todo o perfil vertical, sendo coletado no fundo por meio de um sistema de drenagem (SEZERINO, 2002).

Quando a forma de aplicação do efluente é intermitente promove um grande arraste de oxigênio atmosférico para o material filtrante, assim a cada nova aplicação o oxigênio anteriormente introduzido na massa sólida se mantém dentro da mesma e, somado com a nova quantidade de oxigênio arrastada por esta nova aplicação, a quantidade de oxigênio dentro do material filtrante tornando-se suficiente para a degradação da amônia (COOPER et al., 1995). Na figura 6 é apresentado um sistema de escoamento vertical.

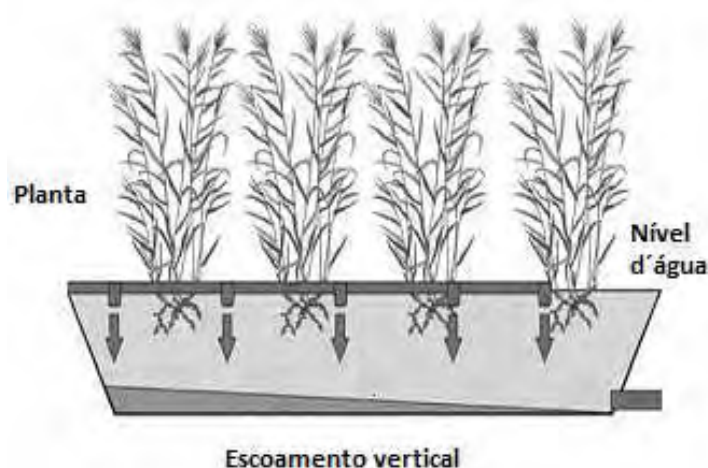


Figura 6 Wetland de escoamento vertical

Adaptado de MASI e MARTINUZZI (2006)

### 3.3.3 *Sistemas híbridos*

Além da utilização dos sistemas descritos há a possibilidade de uni-los para se obter um tratamento ainda melhor, adequado para o reúso que se destinará o efluente. Essa união é denominada como sistemas combinados ou híbridos (combinação de diferentes tipos de alagados construídos).

Segundo Zanella (2006), os wetlands com fluxo combinado contêm, no mesmo tanque, parte do sistema funcionando com fluxo superficial e parte com fluxo subsuperficial, permitindo assim, uma grande combinação de espécies vegetais e formas. Essa configuração procura unir a melhor eficiência dos wetlands de fluxo subsuperficial com a melhor capacidade de aeração possibilitada pelo contato entre a lâmina líquida e o ar, como ocorre nos sistemas de fluxo superficial.

Utilizando-se leitos seguidos de sistemas de escoamento horizontal e vertical faz-se assim a complementação do tratamento. Onde sistema combinado realiza a remoção de DBO, sólidos suspensos totais, e alcança à completa nitrificação, como também, remove substanciais concentrações de nitrato (desnitrificação parcial) com conseqüente redução das concentrações do N total (COOPER et al., 1999). A tabela 1 detalha um comparativo das características dos sistemas subsuperficiais.

**Tabela 1 Resumo comparativo das características dos sistemas subsuperficiais**

| CARACTERÍSTICA                                     | SISTEMAS SUBSUPERFICIAIS                                                         |                        |                        |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
|                                                    | FLUXO HORIZONTAL                                                                 | FLUXO VERTICAL         | HÍBRIDOS OU COMBINADOS |
| Remoção de DBO.                                    | Satisfatório até uma determinada capacidade de transferência de O <sub>2</sub> . | Satisfatório           | Satisfatório           |
| Remoção de SST.                                    | Satisfatório.                                                                    | Pouco satisfatório.    | Satisfatório.          |
| Remoção de bactérias                               | Satisfatório.                                                                    | Pode remover bactérias | Satisfatório.          |
| Remoção de nutrientes.                             | 30% a 50% (ou 60%)                                                               | *                      | *                      |
| Capacidade de transferência de O <sub>2</sub> .    | Baixa                                                                            | Elevada.               | Satisfatória.          |
| Nitrificação no Tratamento secundário              | Pobre                                                                            | Satisfatório           | .Completa              |
| Desnitrificação.                                   | Satisfatório                                                                     | Parcial.               | Parcial                |
| Requerimento de área para o Tratamento secundário. | 5-10m <sup>2</sup> /hab                                                          | 1-2m <sup>2</sup> /hab | *                      |

\* Dados não obtidos

Fonte: Cooper et al., 1999

### 3.3.4 Tipos de Vegetação

As espécies vegetais utilizadas em SAC's devem ser perenes, ter alta tolerância ao excesso de água e a ambientes eutrofizados, ser de fácil propagação e crescimento rápido, ser de fácil colheita e manejo e possuir alta capacidade de remoção de nutrientes e poluentes (PAGANINI, 1997).

Geralmente em SAC's as plantas utilizadas são as chamadas macrófitas que inclui desde as plantas aquáticas vasculares (angiospermas ex. Taboa) até algumas algas cujos tecidos podem ser visivelmente identificados (BRIX, 1997).

Segundo Silva (2007), diversas espécies de plantas que se adaptam a ambientes aquáticos saturados sob condições anaeróbicas, podem ser usadas em sistemas de alagados construídos. As espécies de macrófitas mais frequentemente utilizadas são:

- Emergentes: taboa (*Typha angustifolia* L. ou *Typha latifolia*) junco (*Juncus spp* e *junco ingens*), caniço (*Phragmites spp*), *Schoenoplectus validus*, bunho (*Carex*

*spp*), *Scirpus lacustris* L., *Eleocharis spp* e lírios-do-charco ou lírio-dos-pantanos (*Íris pseudocorus* L.).

- Flutuantes: jacinto d'água (*Eichhornia crassipes*), lentilha d'água (*Lemna*), rede de água (*Hydrodictyon*), *Reticulatum* L., *Scenedesmus acuminatus* (Lagerh) (Duarte, 2002), *Spirodela sp*, *Wolffia arrhiza*, *Azolla caroliniana* (MAZZOLA et al., 2003).
- Submersas: *Elodea canadensis*, *Elodea nutalli*, *Egéria densa* (Elodea), *Ceratophyllum demersum*, *Hydrilla verticillata*, *Cabomba caroliniana*, *Miriophyllum heterophyllum*, *Paramogeton spp* (SOARES E FERREIRA, 2001).

Nos Estados Unidos, estudos mostraram que a utilização simultânea de múltiplas espécies de plantas, em sistemas wetlands é capaz de remover microrganismos patogênicos como *Cryptosporidium parvum* e *Giardia lamblia*, melhorando a qualidade da água (KARPISCAK et al., 1999).

### 3.3.5 **Capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides* L.)**

A espécie, originária da Índia, foi promovida em 1980 pelo Banco Mundial para a conservação de solos. Mediante testes de DNA comprovou-se que a maioria de cultivos de *C. zizanioides*, distribuídos em mais de 120 países tropicais e subtropicais, são estéreis, ainda que apresentem espigas e inflorescência de uma atrativa cor avermelhada (THE WORLD BANK, 1993).

*Chrysopogon zizanioides* L é uma gramínea perene, com talos eretos que atingem de 0,5 a 1,5 m de altura e folhas relativamente rígidas e compridas, seu sistema radicular, com numerosas fibras e raízes cilíndricas, é capaz de alcançar 3 m de profundidade e em alguns casos tem-se conseguido raízes até de 5 metros (CAZZUFFI et al., 2006; BOLETIN VETIVER NÚMERO 14, 2006 apud Orozco, 2009).

Na antiguidade utilizou-se o capim vetiver (nome comum) na confecção de artesanatos e tetos para moradias, porém, o primeiro uso que o tornou conhecido em nível mundial foi o óleo ou essência extraído por destilação das raízes da planta e usado em perfumes. (BOLETIN VETIVER NÚMERO 14, 2006).

A gramínea foi escolhida, dadas suas características particulares de adaptação em condições extremas como (PEREIRA,2006):

- Apresenta sistema de raízes profundas, extensas e penetrantes, prevenindo que resíduos penetrem no solo ou reduzindo a possibilidade de penetração, o que poderia comprometer a contaminação do lençol freático;
- Altamente resistente a enfermidades, pragas e fogo;
- Tolerante a uma grande variação de temperatura, de -9 até 50° C;
- Tolerante a secas e inundações prolongadas;
- Alta tolerância a solos muito ácidos, básicos, salinos, sódicos e com altos níveis de magnésio;
- Alta tolerância a elementos como Al,Mn,As, Cd, Ni, Pb, Hg, Se e Zn nos solos;
- Tolerante a herbicidas e praguicidas;
- Muito eficiente na absorção de N, P, Hg, Cd e Pb dissolvidos em corpos hídricos;
- Consumo de maior volume de água quando comparado com plantas aquáticas como *Typha spp*, *Phragmites australis* e *Schoenoplectus validus*;
- Habilidade de recuperação rápida após distúrbios ambientais.

A tabela 2 apresenta as características morfológicas, fisiológicas e ecológicas do *Chrysopogon zizanioides* L.

**Tabela 2 Características do *Chrysopogon zizanioides* L**

| CARACTERÍSTICAS | VANTAGENS                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Morfológicas    | Talos duros e eretos que podem resistir a fluxos de água intensos; Densas barreiras quando plantadas juntas, reduzindo a velocidade do fluxo e formando um eficiente filtro; Sistema radicular profundo e denso. |
| Fisiológicas    | Tolerância a variações extremas do clima (secas, fogo, geada, alagamento); Ampla faixa de pH no solo (3-10,5); Alta tolerância a níveis tóxicos de metais (Al, Mn, Cd, Cr etc.).                                 |
| Ecológicas      | Reprodução por mudas, sendo assim uma planta não invasora (sementes estéreis); Promove a sucessão natural.                                                                                                       |

O vetiver sobrevive em vários tipos de solo (inclusive areias, argilas, cascalhos e até solos ricos em alumínio) com limitações mínimas. É resistente a pragas, doenças, déficit hídrico, geadas e fogo. Forma-se por touceiras e se reproduz somente por mudas. O capim vetiver, devido a sua alta resistência, freqüentemente atua como planta pioneira, estabelecendo-se em condições hostis e criando micro-climas que permitem o desenvolvimento de plantas nativas (TRUONG & LOCH, 2004; CAZZUFFI et al., 2006).

Também é usado como barreira para reter sedimentos, dado que a planta cresce uma em direção à outra (biotactismo positivo) e na estabilização de aterros e áreas erodidas (PEREIRA, 2006). A figura 7 apresenta o capim vetiver.



**Figura 7 Capim Vetiver**

### 3.3.6 ***Meio Suporte***

O substrato do sistema deve ser cuidadosamente selecionado visto que as características físicas (uniformidade, porosidade e condutividade hidráulica) influenciam os processos que ocorrem durante a depuração do esgoto e conseqüentemente o desempenho do sistema. Funciona como: filtração no decorrer do processo de tratamento de águas residuárias e suporte para o desenvolvimento das plantas. (SILVA, 2007)

Não é aconselhado o uso de meio suporte (substrato) que contenha elevado teor de argila pois, os poluentes ao invés de serem degradados pelos microrganismos, tenderão a acumular-se no substrato e após saturação poderão ser liberados para a efluente (DUARTE, 2002).

Os substratos mais utilizados variam de brita a solos com baixo teor de argila e devem apresentar simultaneamente permeabilidade elevada, alta capacidade de troca catiônica e alta atividade microbiológica (LEITÃO et al., 2002).

Roston & Collaço (2003) utilizaram pneu picado como meio suporte em *wetlands* de fluxo subsuperficial para pós-tratamento de efluentes domésticos. Os valores médios de DQO obtidos para o efluente dos leitos com brita e com pneu picado foram, respectivamente de 95 e 80 mg.L<sup>-1</sup> resultando a taxa média de remoção de 72,4% para brita e 76,7% para o tanque com pneus.

## 3.4 **Mecanismos de remoção dos principais poluentes**

### 3.4.1 ***Processo de depuração da matéria orgânica***

Segundo Von Sperling (1996), a matéria carbonácea presente nos esgotos podem ser classificadas de acordo com sua biodegradabilidade:

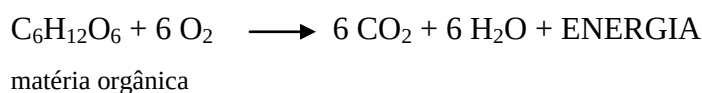
- Matéria orgânica inerte (não biodegradável), passa pelo tratamento sem mudar sua forma, podendo ser identificada em duas frações:
  - A solúvel, que não sofre transformações deixando o sistema na mesma concentração que entrou.
  - A particulada é envolvida pela biomassa sendo sedimentada no fundo junto com o lodo gerado.
- Matéria orgânica biodegradável, duas frações podem ser identificadas, com relação à facilidade de degradação e estado físico.



- Rapidamente biodegradável, usualmente na forma solúvel, moléculas relativamente simples que podem ser utilizadas diretamente pelas bactérias heterotróficas.
- Lentamente biodegradável, usualmente na forma particulada, moléculas relativamente complexas, é necessário a conversão em matéria solúvel, através da atuação de enzimas extracelulares, processo denominado hidrólise, não envolve utilização de energia, mas resulta na demora do consumo da matéria orgânica.

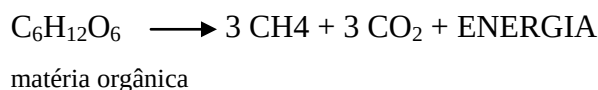
No sistema a matéria orgânica é convertida tanto aerobicamente como anaerobicamente, segundo Von Sperling (1996), este processo ocorre da seguinte forma:

- **CONVERSÃO AERÓBICA:** equação geral da respiração aeróbica.



Analisando-se a reação podem-se destacar aspectos importantes do tratamento de esgotos (Branco,1976):

- A estabilização da matéria orgânica (conversão a produtos inertes, como gás carbônico e água;
  - A utilização do oxigênio;
  - A produção de gás carbônico;
  - A liberação de energia.
- **CONVERSÃO ANAERÓBICA:** equação geral da conversão da matéria orgânica em condições anaeróbicas.



Da mesma forma que na degradação aeróbica podem ser destacados os seguintes aspectos:

- A não exclusividade da oxidação. Se por um lado o carbono do CO<sub>2</sub> se apresenta em seu mais elevado estado de oxidação (+4), o oposto ocorre com o

$\text{CH}_4$ , onde o carbono se encontra em seu estado mais reduzido (-4), podendo ser posteriormente oxidado (por exemplo, por combustão – metano é inflamável);

- A não utilização do oxigênio;
- A produção de metano e gás carbônico;
- A liberação de energia (inferior a da respiração aeróbia).

Segundo Valentim (1999), em SAC's podem ser observadas três zonas distintas, a zona aeróbia, a zona anóxica e a zona anaeróbia.

- A zona aeróbia se forma na rizosfera, ao redor das raízes e dos rizomas das plantas, onde existe uma intensa vida microbiológica, esta é favorecida pela capacidade de transporte do oxigênio atmosférico pelas plantas emergentes (folhas, caules e hastes) até a zona de raízes, onde ocorre a oxidação da matéria orgânica pelas bactérias heterotróficas e a oxidação do nitrogênio amoniacal a nitrito e a nitrato pelas bactérias autotróficas, com a volatilização da amônia. A remoção de nitrogênio do efluente oscila entre 16 e 75% .
- A zona anóxica, ocorre à transformação do nitrato em nitrito e posteriormente em nitrogênio gasoso, pelas bactérias heterotróficas, com a oxidação da matéria orgânica utilizando o nitrato como receptor de elétrons.
- A zona anaeróbica, os índices de remoção de carga orgânica são alcançados devido à alta capacidade de decomposição das bactérias anaeróbicas.

Com a liberação de oxigênio pelas raízes na água, ocorre oxidação das substâncias. Mas o processo mais importante que suporta a base científica do uso das macrofitas é a simbiose entre as plantas e os microrganismos presentes. Como na rizosfera ocorre uma justaposição entre uma região aeróbia e outra anóxica, com a presença de nitrato, ocorre o desenvolvimento de várias bactérias que executam o processo de nitrificação-desnitrificação (VALENTIM, 1999).

### 3.4.2 Nitrogênio

Segundo Cunha (2006), as principais fontes de nitrogênio que chegam às estações de tratamento são orgânicas e amoniacais. O nitrogênio amoniacal pode apresentar-se na forma livre ( $\text{N-NH}^3$ ) e ionizada ( $\text{N-NH}^{4+}$ ) e a predominância de uma forma ou outra depende do pH.

Segundo Von Sperling (1996), em valores de pH:

- próximo de 8,0, praticamente todo o N amoniacal encontra-se na forma ionizada ( $\text{N-NH}^{4+}$ );
- próximo a 9,5, o N amoniacal é representado por, aproximadamente, 50% de  $\text{N-NH}^3$  e 50% de  $\text{N-NH}^{4+}$ .
- maior que 11, praticamente todo o N está na forma de  $\text{N-NH}^3$ .

A oxidação (mineralização) do N orgânico no solo deve-se a sua transformação a partir dos processos de amonificação e nitrificação. A amonificação é realizada por microrganismos heterotróficos (todos os fungos e muitas bactérias) e a nitrificação pelas bactérias Nitrosomonas (que oxida o amônio a nitrito) e Nitrobacter (que oxida o nitrito a nitrato). O primeiro produto da mineralização do N orgânico é o  $\text{N-NH}_4^+$ , por esta razão a amonificação é entendida como sinônimo de mineralização. Entretanto, microrganismos nitrificantes oxidam rapidamente o  $\text{N-NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ . A figura 8 apresenta o processo de transformação do N em sistemas *wetlands*.

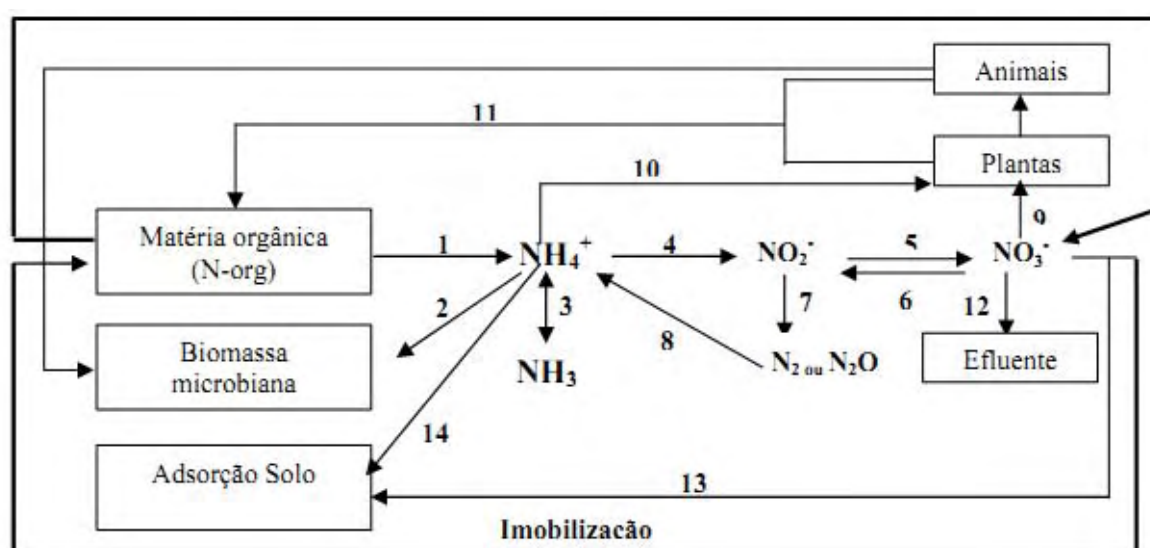


Figura 8 Processos de transformações do N em sistemas *wetlands*

\* Principais processos de N em *wetlands*. Adaptado de Cassini (2006) e Vymazal (2006) apud Silva (2007)

## LEGENDA

- 1 – Amonificação
- 2 - Imobilização (assimilação microbiana)
- 3 – Equilíbrio químico (depende do pH)
- 4 e 5 - Nitrificação
- 4 e 7 - ANAMMOX
- 6 e 7 – Desnitrificação
- 8 – Fixação biológica do N<sub>2</sub>
- 9 e 10 – Absorção pelas plantas
- 11 – Decomposição e complexação
- 12 – Lixiviação
- 13 e 14 – Adsorção nas partículas do solo

### 3.4.3 **Fósforo**

Depois do nitrogênio o fósforo é o elemento mais essencial ao desenvolvimento das plantas. O P (fósforo) é encontrado no solo nas formas orgânicas e inorgânicas. A primeira geralmente formando complexo com a MO, e a segunda na solução do solo, prontamente disponível para absorção pelas plantas ou para ser adsorvida às partículas do solo ou de colóides (lável e não lábil) (SILVA, 2007).

A fração lábil está em equilíbrio com a solução do solo e encontra-se na superfície dos colóides de Fe e Al. Nesta forma, o P passa facilmente para a solução do solo e pode ser absorvido pelas plantas. Quando não lábil, encontra-se dentro dos polímeros do mineral, é o P fixado, ou seja, não disponível (VAN RAIJ, 1991), representando de 90% a 95% do P presente nos solos naturais (CASSINI, 2006).

Para maximizar a remoção de poluentes, especialmente no que diz respeito à remoção de fósforo e metais, a vegetação de zonas úmidas construídas deve ser cortada ou colhida com frequência durante a estação de crescimento. (ARIAS *et al.*, 2005).

Os processos de transformação do P nos solos dos *wetlands* são: incorporação na matéria orgânica, liberação de P solúvel a partir de ácidos orgânicos produzidos pela decomposição da matéria orgânica, adsorção/dessorção, precipitação/dissolução, absorção pela planta, imobilização microbiana, lixiviação e mineralização. A figura 9 apresenta o processo de transformação do fósforo em *wetlands*.

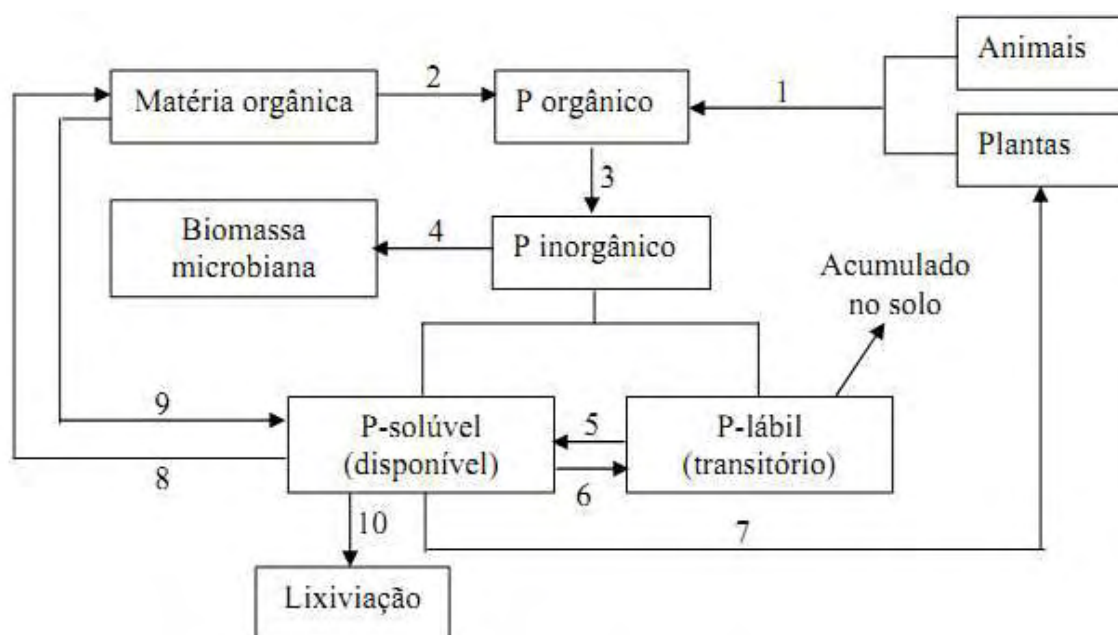


Figura 9 Processos de transformação do fósforo em wetlands

Adaptado de Cassini, 2006 apud Silva, 2007

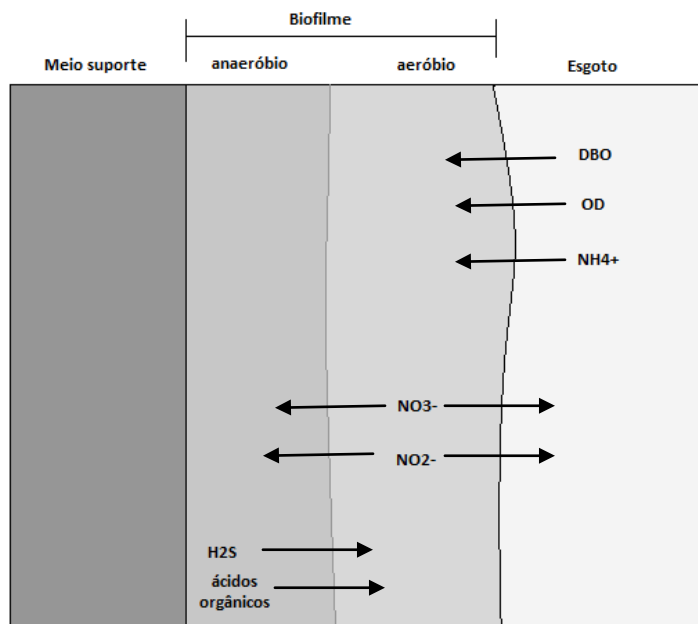
Segundo Vymazal (2006), a remoção de P em wetlands construídos, geralmente, é baixa, variando entre 40% e 60%, podendo ser alta quando o substrato possuir elevada capacidade de sorção (adsorção e absorção).

### 3.4.4 *Biomassa microbiana*

Segundo Von Sperling (1996), a biomassa microbiana em tratamentos biológicos cresce em duas configurações básicas:

- Crescimento disperso: cresce de forma dispersa no meio líquido, sem nenhuma estrutura de sustentação.
- Crescimento aderido: cresce aderida a um meio suporte, formando um biofilme. O meio suporte pode estar imerso no meio líquido, ou receber descargas contínuas ou intermitentes de líquido.

No caso de sistemas *wetlands* de escoamento subsuperficial a predominância que o biofilme cresça de forma aderida ao meio suporte. Os compostos necessários para o desenvolvimento bacteriano (matéria orgânica, oxigênio, e micronutrientes) são adsorvidos à superfície e então são transportados por difusão, onde são metabolizados pelos microrganismos (IWAI E KITAO, 1994 apud VON SPERLING, 1996). A figura 10 apresenta um sistema esquemático de um biofilme.



**Figura 10** Representação esquemática de um biofilme

Adaptado de Iwai e Kitao, 1994 apud Von Sperling, 1996

A biomassa microbiana é a fração viva da matéria orgânica do solo e contém de 1% a 5% do N total e de 2 a 5% do COT (carbono orgânico total) do solo (MOREIRA E SIQUEIRA, 2002; SMITH E PAUL, 1990). Perez et al. (2005) consideram o percentual de COT entre 1% e 4%. Apesar de representar um pequeno percentual de N do solo, a biomassa microbiana é um reservatório de nutrientes para as plantas. É, também, indicadora sensível das mudanças que ocorrem no solo por ser a principal responsável pelas transformações da matéria orgânica, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia do solo (JENKINSON E LADD, 1981).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Afluente

O afluente utilizado nesta pesquisa é gerado no Departamento de Educação Física da Faculdade de Ciências e na Moradia Estudantil da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, no *Campus* de Bauru-SP (latitude 22°21’11,29” S e longitude 49°01’42,91” O). O Clima da região de Bauru é Aw de acordo com a classificação de Köppen, definido como clima tropical com estação seca de Inverno (CEPAGRI – Unicamp).

O efluente anteriormente tinha destino final às fossas sépticas, tais fossas foram desativadas e o efluente canalizado até a Estação de Tratamento de Esgoto por Alagados Construídos. O fornecimento de esgoto ao sistema é feito pelo coletor de esgotos responsável pelo afastamento dos efluentes gerados nas dependências do departamento, incluindo salas de aula, salas de professores, laboratórios, banheiros e vestiários.

Segundo Zanella (2008), por se tratar de esgoto universitário, as atividades desenvolvidas no local conferem ao esgoto características um pouco diferentes das características esperadas para um esgoto doméstico devido à diferença entre o tipo de atividades. Isto causa um fenômeno que deve ser ressaltado, as características do esgoto variam fortemente e de maneira não previsível dependendo do conjunto de atividades desenvolvidas.

O Departamento de Educação Física conta com por 277 alunos, 43 docentes e 3 funcionários, gerando uma vazão estimada de 10 mil litros de esgoto por dia. A Moradia Estudantil começou a contribuir com esgoto a partir do primeiro semestre de 2012, quando será ocupada por 64 alunos dos cursos de graduação da Universidade.

Por meio da figura 11 é possível visualizar a localização da ETE por Alagados Construídos assim como a Moradia Estudantil e o Departamento de educação Física.

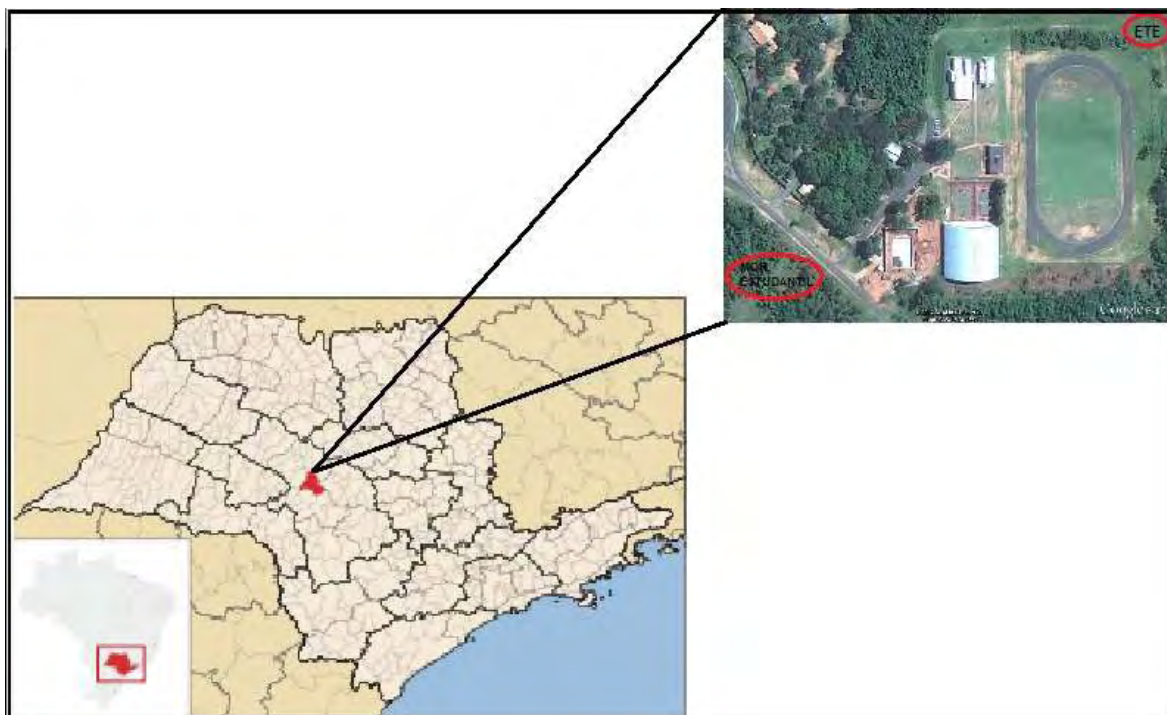


Figura 11 Localização da ETE por Alagados Construídos.

Fonte GOOGLE EARTH

## 4.2 A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)

Foi projetada a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) que utiliza o sistema de alagados construídos para tratamento do esgoto. A ETE é composta por quatro etapas de tratamento (preliminar, primário, secundário e terciário). Esta pesquisa irá avaliar a eficiência do sistema de alagados construídos de fluxo horizontal (tratamento secundário) no processo de remoção da matéria orgânica. A figura 12 apresenta um esquema geral da ETE.



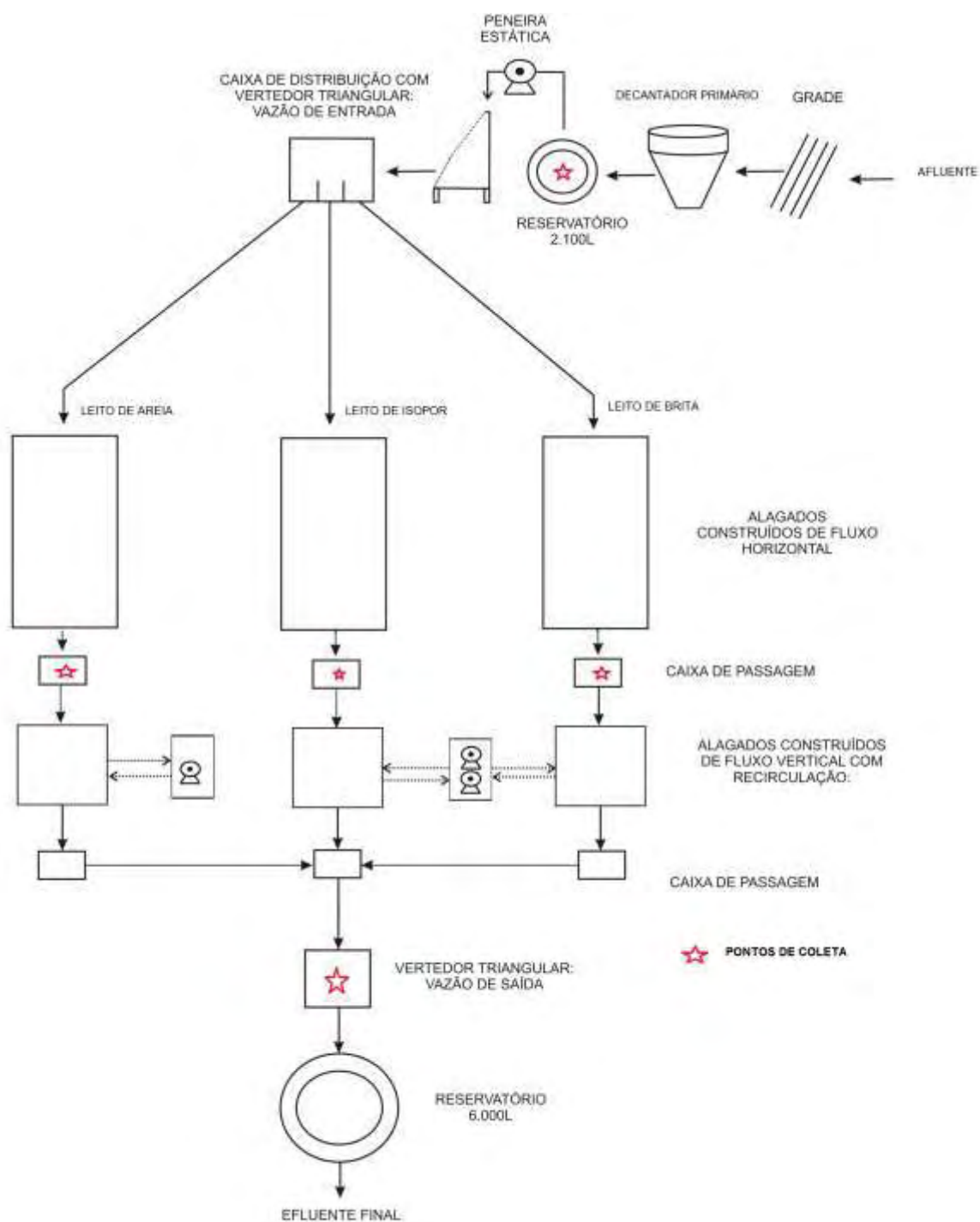


Figura 12 Esquema Geral da ETE

- **Tratamento preliminar**

Esta etapa do tratamento é formada por um sistema de gradeamento responsável por reter sólidos grosseiros, uma peneira estática hidrodinâmica com a finalidade de reter sólidos mais finos que possam causar entupimentos no sistema. Como apresenta a figura 13.



Figura 13 Grade e peneira estática

- **Tratamento primário**

O tratamento primário é composto por um decantador primário com capacidade de 5.500 litros, que se destina à remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes. Como apresentado na figura 14.



Figura 14 Decantador Primário

Após passar pelo tratamento preliminar e pelo tratamento primário, o efluente segue por uma caixa vertedora com três vertedores, que dividirá a vazão de forma uniforme para a próxima etapa de tratamento (Figura 15).



Figura 15 Caixa divisória de vazão

- **Tratamento secundário**

Esta fase é constituída por três leitos de alagados construídos de fluxo horizontal que visam, especialmente, à remoção da DBO e de SST (Figura 16).



**Figura 16 Alagados Construídos de Fluxo Horizontal e escoamento subsuperficial**

- **Tratamento terciário**

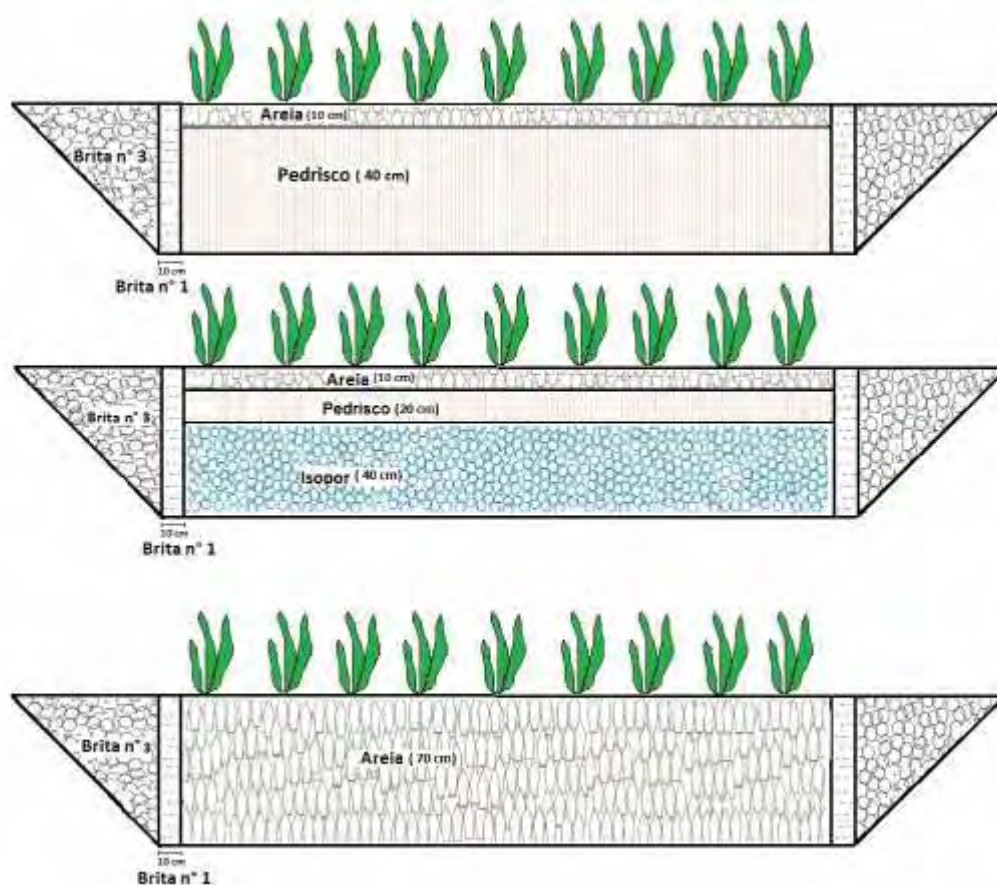
O tratamento terciário é uma etapa adicional de tratamento, formada por três leitos de alagados construídos de fluxo vertical com recirculação, que tem o objetivo de melhorar o processo de nitrificação do sistema. Esta etapa do tratamento não será abordado, pois é tema de outro trabalho.

#### **4.2.1 *Alagados construídos de fluxo subsuperficial e escoamento horizontal***

Os alagados construídos de escoamento horizontal funcionam como tratamento secundário e são responsáveis pela remoção da matéria orgânica.

O sistema conta com três leitos de 9 x 4,5 m cada um, paralelos, ocupando uma área total de 121,5 m<sup>2</sup>. Os leitos foram escavados no solo com uma profundidade de 0,8 m e declividade longitudinal de 1%. Cada leito foi preenchido com substratos diferentes, para a avaliação do desempenho de cada um deles. Os materiais utilizados para compor os leitos são os seguintes: Areia grossa, pedra nº 0 (pedrisco), pedra nº 1, pedra nº 3 e Poliestireno expandido (isopor) moído. A distribuição dos materiais pode ser observada na figura 17.





**Figura 17 Distribuição do substrato em cada leito**

É possível observar através da figura 18 os detalhes da escavação para construção dos leitos, primeiramente o terreno foi demarcado e escavado com auxílio de uma retro-escavadeira, após isto os taludes e as valas para ancoragem das mantas de impermeabilização foram feitos de forma manual, por fim foram colocadas as canalizações de entrada e saída do efluente.



**Figura 18** Detalhes da escavação dos leitos.

A figura 19 apresenta o processo de execução da impermeabilização dos leitos que foi realizada por uma empresa especializada com manta de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) de 8 mm, antes da instalação da manta o fundo dos leitos foram forrados com uma manta tecido-não-tecido (tipo bidim) para proteger a manta de qualquer material que possa perfurá-la, e após a instalação também foi colocada outra camada de tecido-não-tecido (tipo bidim) por cima das mantas para proteger na colocação do material de substrato.





**Figura 19 Impermeabilização dos leitos**

A colocação do material de substrato dentro dos leitos foi feito com a ajuda de um pequeno trator, e de forma manual. A figura 20 apresenta detalhes da colocação do substrato dentro dos leitos.



**Figura 20 Colocação do material de substrato**

Para a distribuição do esgoto no interior dos *wetlands*, e a sua posterior coleta, foram instalados dispositivos de entrada e saída nos tanques de forma que a distribuição no interior seja por igual em todo o meio suporte.

O dispositivo de entrada é constituído de um tubo de 100 mm, perfurado ao longo de toda a sua extensão, porém apenas na parte inferior da tubulação. O tubo foi colocado apoiado sobre uma camada de brita nº 1, e depois recoberto com a camada de areia. A entrada do efluente se dá no ponto central do comprimento do dispositivo de entrada, por meio de uma conexão em “T”. A tubulação de coleta do efluente segue a mesma linha, porém foi elaborado com um tubo corrugado rígido para drenagem de diâmetro 100 mm totalmente, e esta localizada no fundo do leito, conforme pode ser visualizado na Figura 21.



**Figura 21 (a) Tubulação de entrada do efluente;**

**21 (b) Tubulação de saída do afluyente**

O efluente após ser coletado é encaminhado para as caixas de passagens, onde existe um sistema que permite controlar o nível de água dentro do sistema de *wetlands*, de forma individual e para cada leito. A tubulação niveladora pode ser posicionada para se controlar o nível nos leitos.

Todos os leitos foram plantados com capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*). Segundo Pereira (2006), o capim vetiver não apresenta estolões subterrâneos e suas flores são estéreis, portanto não é uma planta invasora. A figura 22 (a) apresenta os leitos com mudas plantadas e a figura 22 (b) apenas uma amostra do vetiver.





Figura 22 (a) Capim Vetiver plantados nos leitos

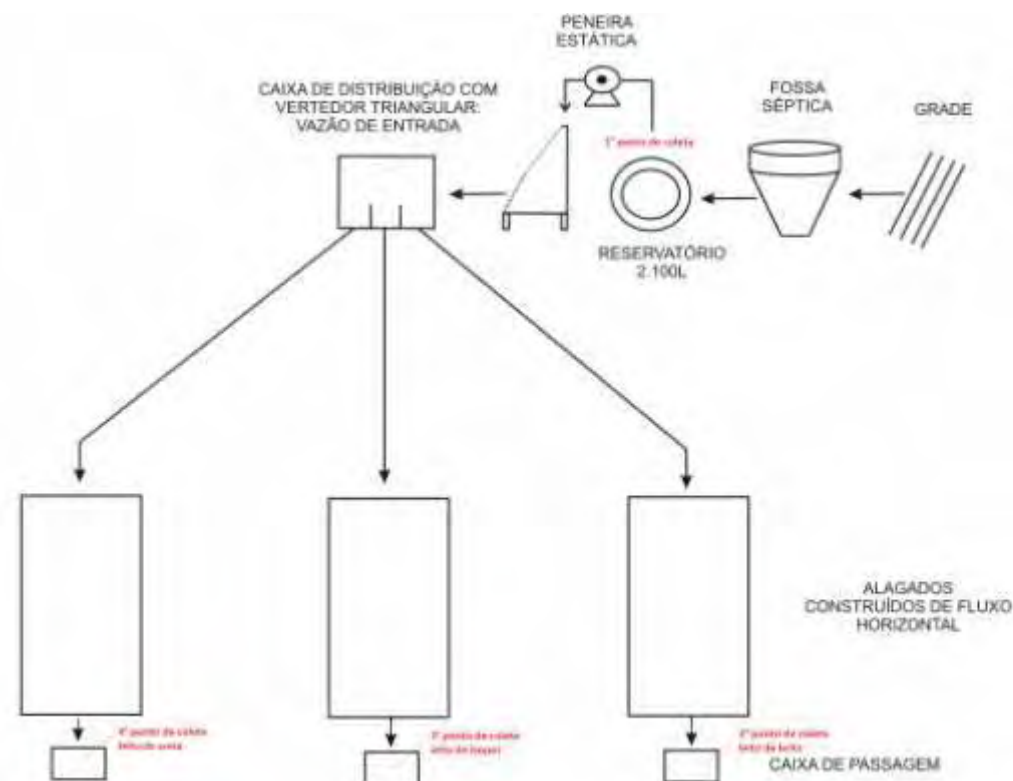
22(b) Amostra de muda plantada

#### 4.2.2 ***Monitoramento do sistema e análise dos resultados***

A ETE entrou em funcionamento no dia 24 de outubro de 2011, e seu monitoramento teve início no dia 08 de novembro de 2011 até o dia 16 de maio de 2012, sendo realizadas análises semanais.

Para cada ponto de coleta do efluente foi analisado os seguintes parâmetros: pH, Oxigênio dissolvido (OD), Temperatura, Sólidos Suspensos Totais (SST), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda química de oxigênio (DQO), Cor verdadeira, Nitrogênio Total (NTK), Nitrogênio amoniacal ( $\text{N-NH}_3$ ), Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), Fósforo ( $\text{PO}_4$ ), Coliformes Termotolerantes e Totais, Alcalinidade total e Condutividade Elétrica (CE).

Os pontos de amostragem foram previamente definidos de forma a abranger todo o tratamento e pode ser observado na figura 23.



**Figura 23 Pontos de coleta**

As coletas foram realizadas no período da manhã sempre por volta das 9 horas, sendo coletados 2 litros de cada ponto, os frascos de coleta das amostras para a realização das análises físico-químicas foram de plástico com volume de 2L (figura 24), eram lavados com detergente neutro, com o auxílio de escovas adequadas e, enxaguados com água corrente e posteriormente enxaguados novamente com água destilada. O procedimento de coleta, preservação das amostras e análises foi realizado com base nas recomendações e métodos do “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater” (APHA, 2005). A tabela 3 apresenta os métodos e aparelhos utilizados em cada parâmetro analisado.



**Figura 24** Frascos de coleta

**Tabela 3** Métodos e aparelhos utilizados em cada parâmetro

| <b>PARÂMETRO</b>                      | <b>MÉTODO</b>                 | <b>EQUIPAMENTO<br/>UTILIZADO</b>  |
|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Condutividade                         | Potenciométrico               | ORION 115 - CEL. 011510           |
| pH                                    | Potenciométrico               | ORION 310                         |
| Alcalinidade                          | Titulação                     | Vários                            |
| Oxigênio Dissolvido (OD)              | Potenciométrico               | ORION 810 – EL.081010             |
| D.B.O.                                | Barométrico                   | HACH - DBOTRACK                   |
| D.Q.O.                                | Calorimétrico                 | HACH – DR2010                     |
| NTK                                   | Calorimétrico                 | HACH – DR2010                     |
| Nitrogênio Amoniacal                  | Colorimétrico/Potenciométrico | HACH – DR2011/ <i>Termo Orion</i> |
| Nitrogênio Nitrico (NO <sub>3</sub> ) | Colorimétrico/Potenciométrico | HACH – DR2011/ <i>Termo Orion</i> |
| Nitrogênio Nitroso (NO <sub>2</sub> ) | Colorimétrico/Potenciométrico | HACH - DR2011/ <i>Termo Orion</i> |
| Fosfato                               | Colorimétrico                 | HACH – DR2014                     |
| Sólidos em geral                      | Standard Methods              | Vários                            |

### 4.2.3 *Tempo de retenção hidráulica*

Para o cálculo do tempo de retenção hidráulica do sistema, foi feito por meio de análises no laboratório de solos da Faculdade de Engenharia de Bauru, o índice de porosidade dos substratos usados nos leitos, este índice foi calculado para o conjunto de materiais utilizados nos leitos (brita + pedrisco, isopor + pedrisco, areia). Os valores obtidos foram de 39,6% para o leito de brita, 41,5% para o leito de isopor e 42% para o leito de areia.

Para obtenção da vazão, foi instalado na bomba que leva o efluente que chega a estação até a peneira estática, um medidor que mede a quantidade de horas que a bomba fica ligada. A cada vez que a bomba é ligada, 600 litros de efluente é bombeado, permanecendo ligada por 1 minuto e 26 segundos. Sendo assim foi possível calcular a vazão média que passa por hora por leito na estação chegando ao valor de 116,21 L/h.

Volume útil dos leitos é de 17,58m<sup>3</sup> para cada leito. Portando o volume preenchido com efluente em cada leito é:

$$V_p = V_u \times P$$

#### LEGENDA

V<sub>p</sub> = volume preenchido

V<sub>u</sub> = volume útil

P = porosidade

$$\text{Leito de brita: } 17,58 \text{ m}^3 \times 39,6\% = 10,62 \text{ m}^3$$

$$\text{Leito de isopor: } 17,58 \text{ m}^3 \times 41,5\% = 10,29 \text{ m}^3$$

$$\text{Leito de areia: } 17,58 \text{ m}^3 \times 42\% = 10,2 \text{ m}^3$$

Sendo assim, o tempo de retenção hidráulica de cada leito é:

$$TDH = V_p / \text{vazão}$$

$$\text{Leito de brita: } (10,62 \text{ m}^3 / 0,116 \text{ m}^3/\text{h}) = 91,5 \text{ horas} = 3,81 \text{ dias}$$

$$\text{Leito de isopor: } (10,29 \text{ m}^3 / 0,116 \text{ m}^3/\text{h}) = 88,7 \text{ horas} = 3,70 \text{ dias}$$

$$\text{Leito de areia: } (10,2 \text{ m}^3 / 0,116 \text{ m}^3/\text{h}) = 87,9 \text{ horas} = 3,66 \text{ dias}$$

#### **4.2.4 Cálculo das Taxas de Eficiência de Remoção**

A taxa de eficiência de remoção avaliada no sistema de alagados foi calculada pela diferença entre as concentrações na entrada e na saída de cada leito, dividida pela concentração de entrada, e finalmente multiplicada por 100 (para ser expressa em porcentagem).

$$\text{Eficiência de remoção} = \frac{C_E - C_S}{C_E} * 100$$

#### **4.2.5 Delineamento estatístico**

Para a verificação da eficiência do tratamento, os resultados obtidos para os diversos parâmetros estudados são apresentados em forma de gráficos ou tabelas, para cada parâmetro.

Também foi aplicado um teste de hipóteses estatísticas para se determinar a diferença estatística entre os tratamentos. O teste aplicado foi o teste de significância com distribuição do tipo “t”, o qual analisa a diferença entre duas condições com características diferentes após uma intervenção.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Monitoramento

O monitoramento do sistema foi feito de novembro de 2011 a maio de 2012, com frequência semanal, para uma melhor condição de análise do sistema, sendo que o período amostrado dividido em duas fases:

- Primeira fase de análises como Período de férias escolares (novembro a fevereiro) e;
- Segunda fase de análises como: Período de aulas (março a maio).

Esta divisão foi feita devido às características do esgoto gerado no campus ser diferente nos dois períodos, pois os alunos não frequentam o *campus* nas férias, assim não produzindo esgoto.

### 5.2 Análise do monitoramento

#### 5.2.1 Vegetação

As mudas do Capim Vetiver foram plantadas no sistema com em média 15 cm de altura cada uma, em um adensamento de 91 plantas por leito.

Após dois meses (14/12) de funcionamento do sistema pode-se notar um nítido crescimento de todas as mudas. Foi realizada uma medição das mudas em janeiro (19/01) e em março (01/03). Os valores são apresentados na tabela 4.

No dia 06 de março de 2012 foi feita uma poda em todos os leitos, deixando todas as plantas com um tamanho uniforme de 15 cm. Dia 06/04 foi realizada uma nova medição apresentada na tabela 4.

**Tabela 4** Altura média das plantas dos leitos

| <b>DATA</b>  | <b>BRITA</b> | <b>ISOPOR</b> | <b>AREIA</b> |
|--------------|--------------|---------------|--------------|
| <b>19/01</b> | 0,35m        | 0,45m         | 0,40m        |
| <b>01/03</b> | 1,60m        | 1,65m         | 1,50m        |
| <b>06/04</b> | 0,25m        | 0,30m         | 0,20m        |

Pode-se evidenciar um bom crescimento das mudas, observando, que as plantas apresentam maior crescimento na faixa inicial dos leitos, zona de entrada do esgoto, o leito com substrato de isopor teve um crescimento ainda maior, e bem diferenciado visivelmente dos outros.

As figura 25a, 25b, 25c, 25d 25e e 25f apresentam a evolução do crescimento das mudas.



Figura 25 (a) Mudas quando foram plantadas



(b) Plantas após 1 mês de funcionamento do sistema



(c) Plantas após 2 meses de funcionamento do sistema





(d) Plantas após 3 meses de funcionamento do sistema



(e) Plantas após poda realizada



(f) Plantas após 1 mês da poda

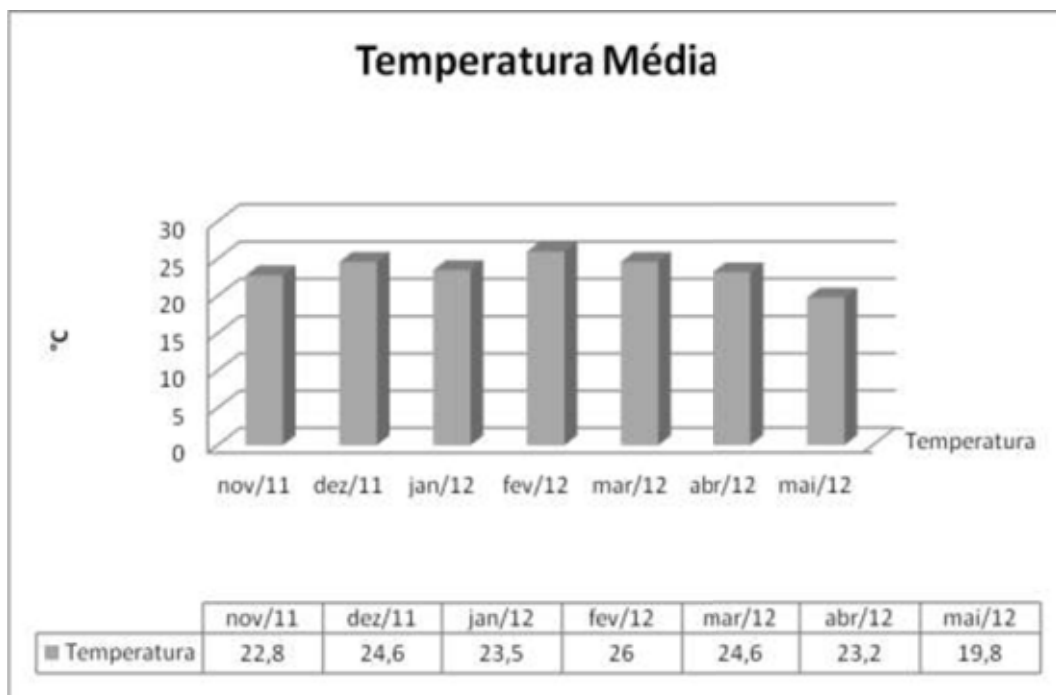
\* foto do leito de areia não obtida

### 5.2.2 **Dados meteorológicos**

Durante o tempo de monitoramento do sistema as condições climáticas da região foram monitoradas, os dados pluviométricos e temperatura, foram obtidos por meio do IPMET (Instituto de pesquisas meteorológicas).

A variação de temperatura ao longo do período de acompanhamento pode ser visto na figura 31.

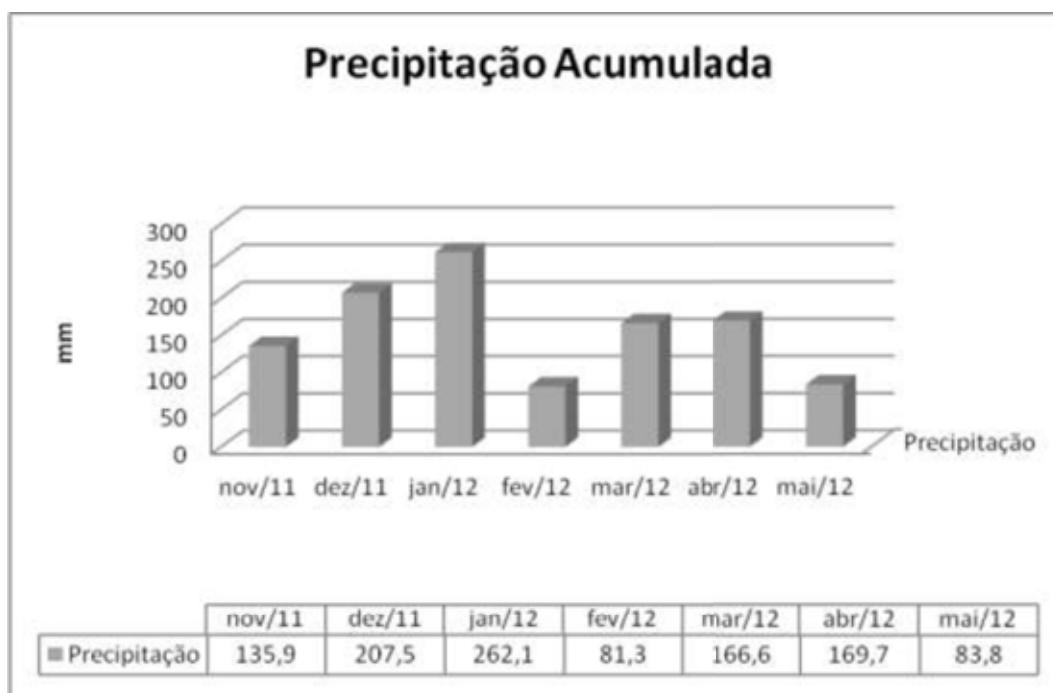




**Figura 26 Temperatura média**

Durante os meses de análise a média da temperatura foi de 23,5 °C, portanto, no período de monitoramento do sistema não houve temperatura muito baixas nem muito altas.

A variação da precipitação acumulada pode ser observada na figura 32.



**Figura 27 Precipitação acumulada**

É possível observar que a maior precipitação, no período de estudo foi em janeiro de 2012, enquanto que o mês de fevereiro apresentou a menor precipitação. Foi observada a presença de chuvas fortes na coleta dos dias 15 de dezembro, 19 de janeiro e 07 de março.

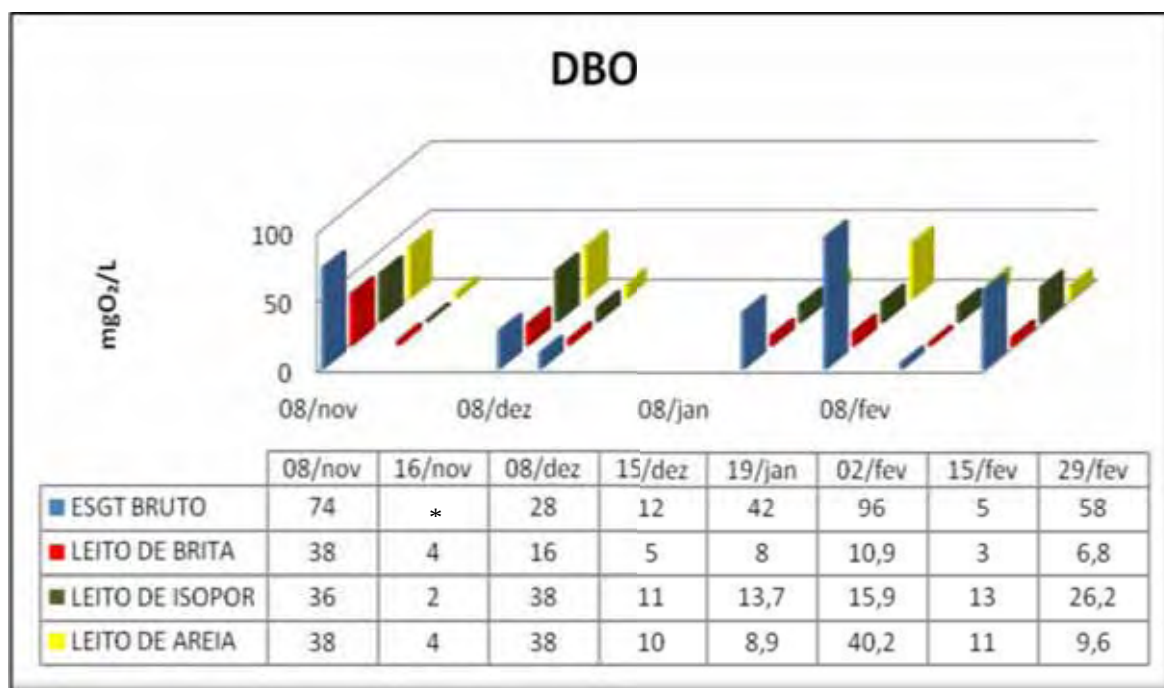
### 5.2.3 ***Demanda Bioquímica de oxigênio***

A eficiência de remoção média de DBO do sistema para cada leito do durante o a primeira fase de análise foi de 64% para o leito de brita, 53,1% para o leito de isopor e 57,1% para o leito de areia.

Já na segunda fase de análise as médias de eficiência de remoção da DBO foram de 85,6% para o leito de brita, 84,2% para o leito de isopor e 85,4% para o leito de areia.

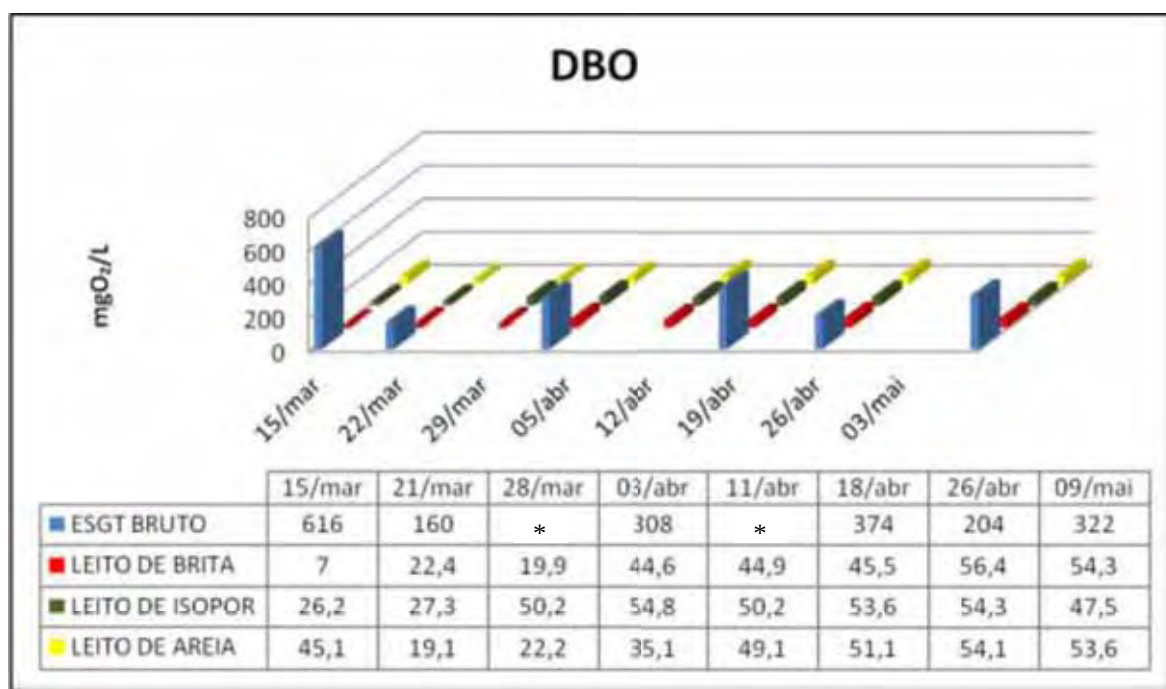
Os gráficos 1 e 2 apresentam a concentração de DBO em cada análise do parâmetro para cada leito.

**Gráfico 1** Concentração de DBO na primeira fase de análise



\* valor não obtido

Gráfico 2 Concentração de DBO na segunda fase de análise



\* valor não obtido

Pode-se observar a diferença dos valores de concentração nas duas fases analisadas. Na primeira fase as concentrações eram mais baixas e instáveis. Já na segunda fase as concentrações aumentaram se mantendo mais constantes.

Pode-se observar também que as eficiências de remoção foram quase que iguais para os três tipos de leito.

Os resultados obtidos com a análise estatística do Teste de hipótese do tipo “t” a 5% ( $p \leq 0,05$ ), mostra que não há diferença significativa entre os leitos. Ou seja, na remoção de DBO, os leitos não apresentaram diferença no tratamento do efluente.

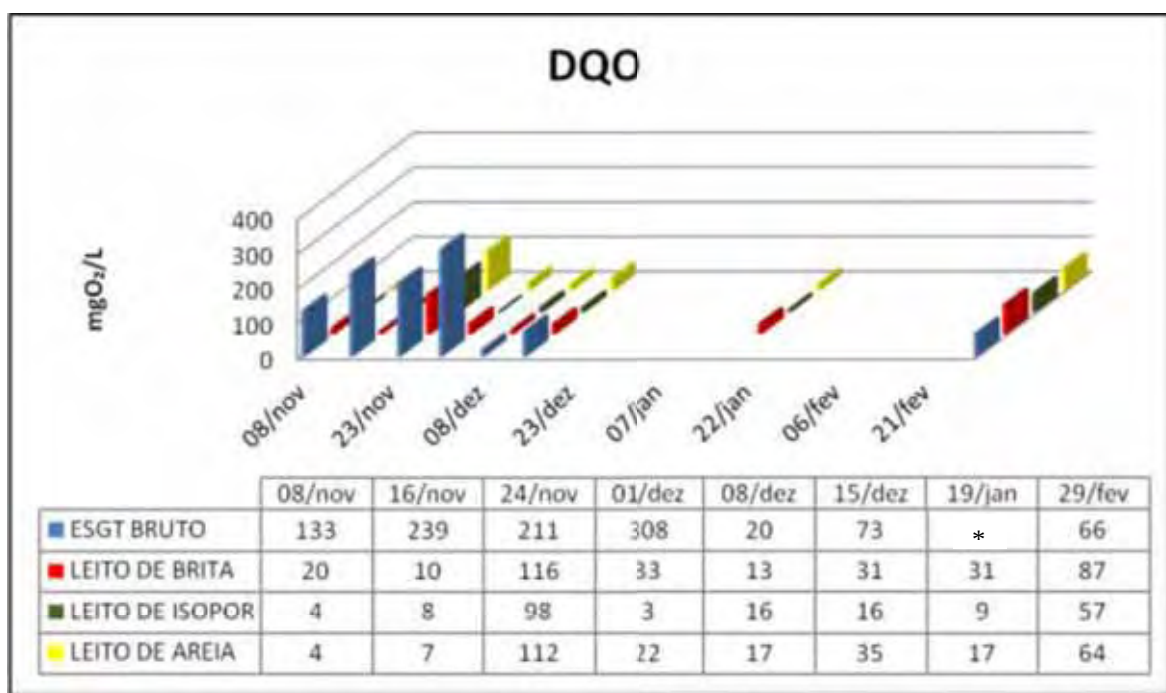
#### 5.2.4 ***Demanda Química de Oxigênio***

A eficiência média de remoção de DQO na primeira fase para cada leito do sistema foi de 67,9% para o leito de brita, 65,4% para o leito de isopor e 57,7% para o leito de areia.

Na segunda fase a eficiência de remoção foi de 87% para o leito de brita, 80% para o leito de isopor e 83,8% para o leito de areia.

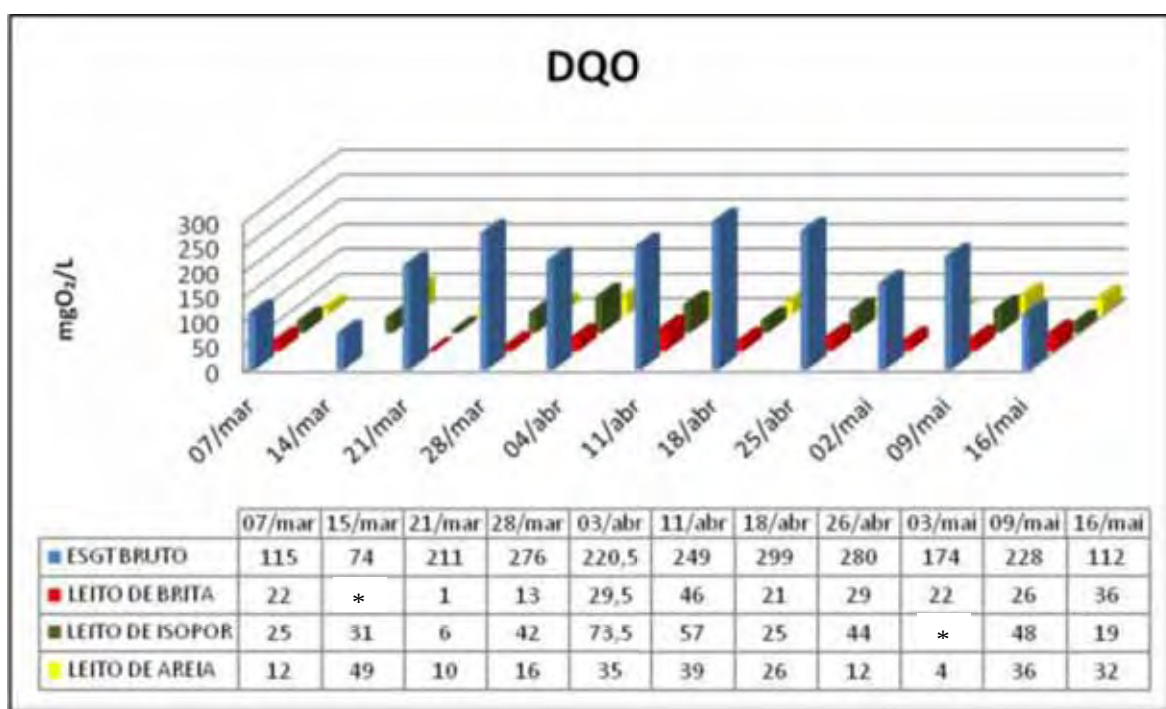
Os gráficos 3 e 4 mostram as concentrações de DQO em cada análise do parâmetro.

Gráfico 3 Concentração de DQO na primeira fase de análise



\* valor não obtido

Gráfico 4 Concentração de DQO na segunda fase



\* valor não obtido

Os resultados obtidos com a análise estatística do Teste de hipótese do tipo “t” a 5% ( $p \leq 0,05$ ), mostra que não há diferença significativa entre os leitos. Ou seja, na remoção de DQO, os leitos não apresentaram diferença no tratamento do efluente.

### 5.2.5 Remoção de sólidos

A eficiência média de remoção de sólidos totais dissolvidos (STD) na primeira fase de análise para cada leito foi de 35,8% para o leito de brita, 19,2% para o leito de isopor e 21% para o leito de areia.

Para a segunda fase de análise a remoção média foi de 18% para o leito de brita, 33,4% para o leito de isopor e 28,6% para o leito de areia.

Os gráfico 5 e 6 apresentam as concentrações de STD para cada análise em cada fase.

Gráfico 5 Concentração de STD na primeira fase

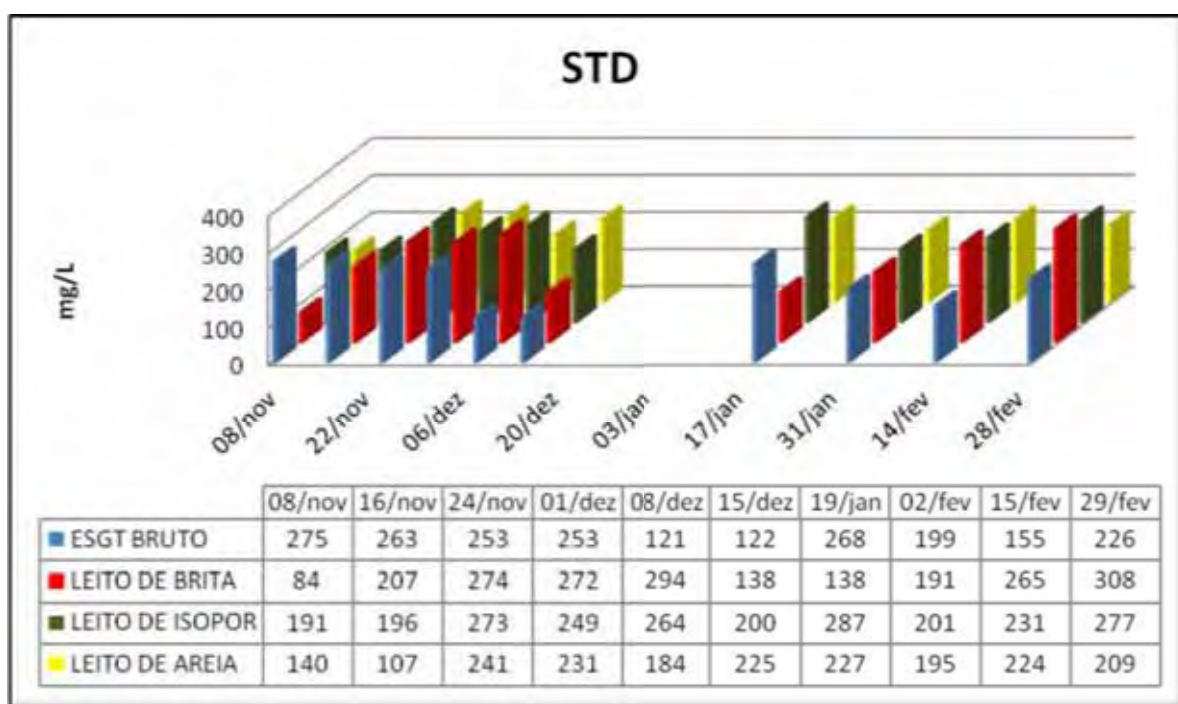
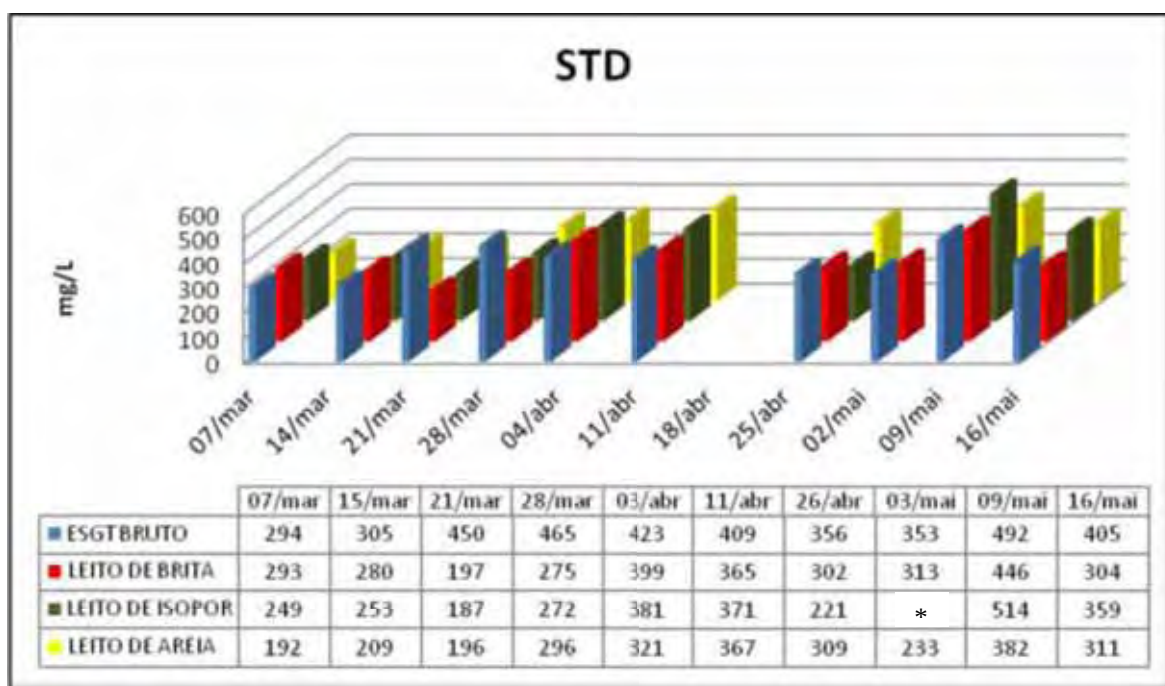


Gráfico 6 Concentração de STD na segunda fase



\* valor não obtido

A baixa eficiência de remoção de (STD) pode ser explicada, pois pode haver o desprendimento de matéria do substrato contribuindo para as concentrações de sólidos.

Os resultados obtidos com a análise estatística do Teste de hipótese do tipo “t” a 5% ( $p \leq 0,05$ ), mostra que há diferença significativa entre os leitos. Ou seja, na remoção de sólidos, os leitos apresentaram diferença no tratamento do efluente.

### 5.2.6 *Cor*

Foram realizadas análises de cor verdadeira, do esgoto bruto e dos efluentes tratados, assim como nos demais parâmetros houve uma grande variação dos valores. Os dados de cor verdadeira podem ser observados no gráfico 7 e 8 para cada fase.



Gráfico 7 Valores de cor verdadeira para a primeira fase

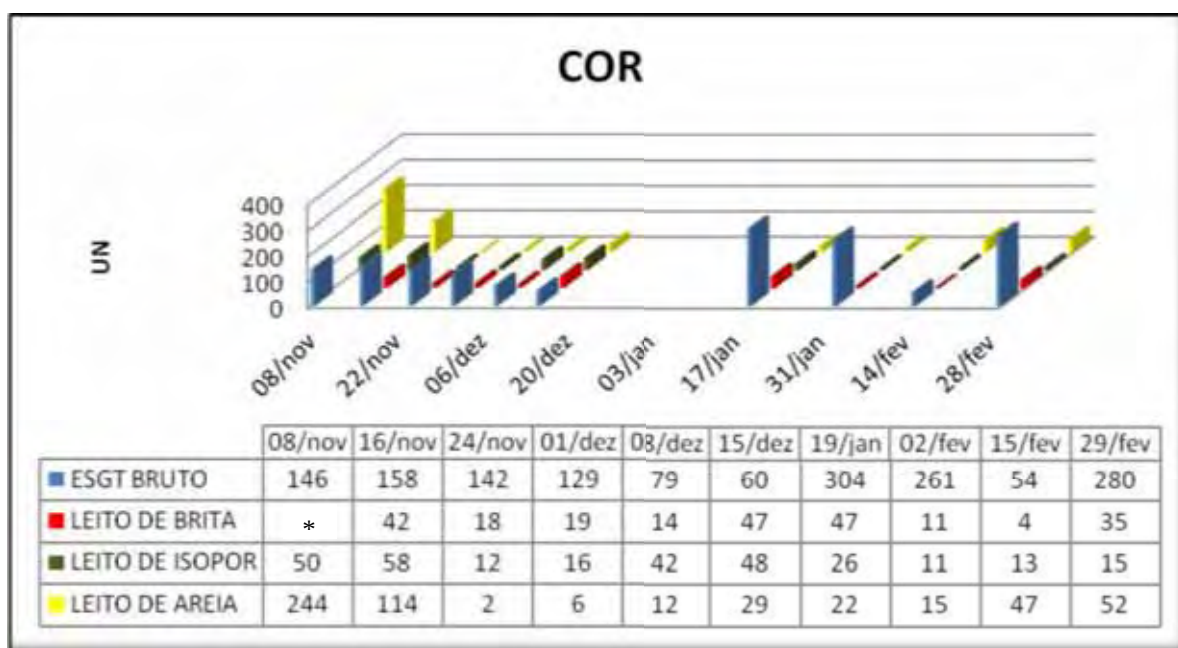
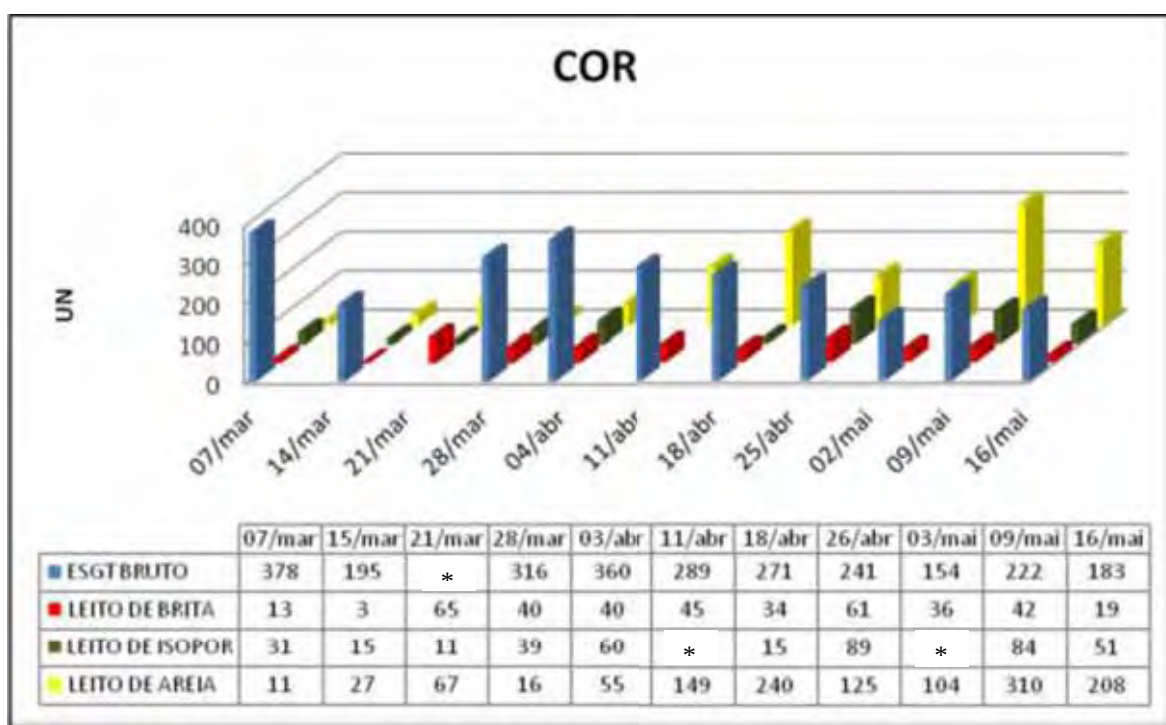


Gráfico 8 Valores de cor verdadeira para a segunda fase



\* valor não obtido

Os leitos com substrato de isopor e brita, produziu durante todas as análises um efluente de cor bem transparente, já o leito de areia produziu um efluente de cor laranja.

Os resultados obtidos com a análise estatística do Teste de hipótese do tipo “t” a 5% ( $p \leq 0,05$ ), mostra que há diferença significativa entre os leitos. Ou seja, na remoção de cor, os leitos apresentaram diferença no tratamento do efluente.

### 5.2.7 *Oxigênio dissolvido*

Os valores médios de oxigênio dissolvido (OD) na primeira fase para o esgoto bruto foi de 1,6 mg/L para o leito de brita foi de 2,7 mg/L para o leito de isopor foi de 2,7 mg/L e para o leito de areia foi de 2,7 mg/L. Na segunda fase os valores médios de OD para o esgoto bruto foi de 0,4 mg/L para o leito de brita foi de 1,5 mg/L para o leito de isopor foi de 1,6 mg/L e para o leito de areia foi de 1,5 mg/L. Os gráficos a 9 e 10 apresentam os valores de OD em cada análise.

Gráfico 9 Concentração de OD na primeira fase de análise

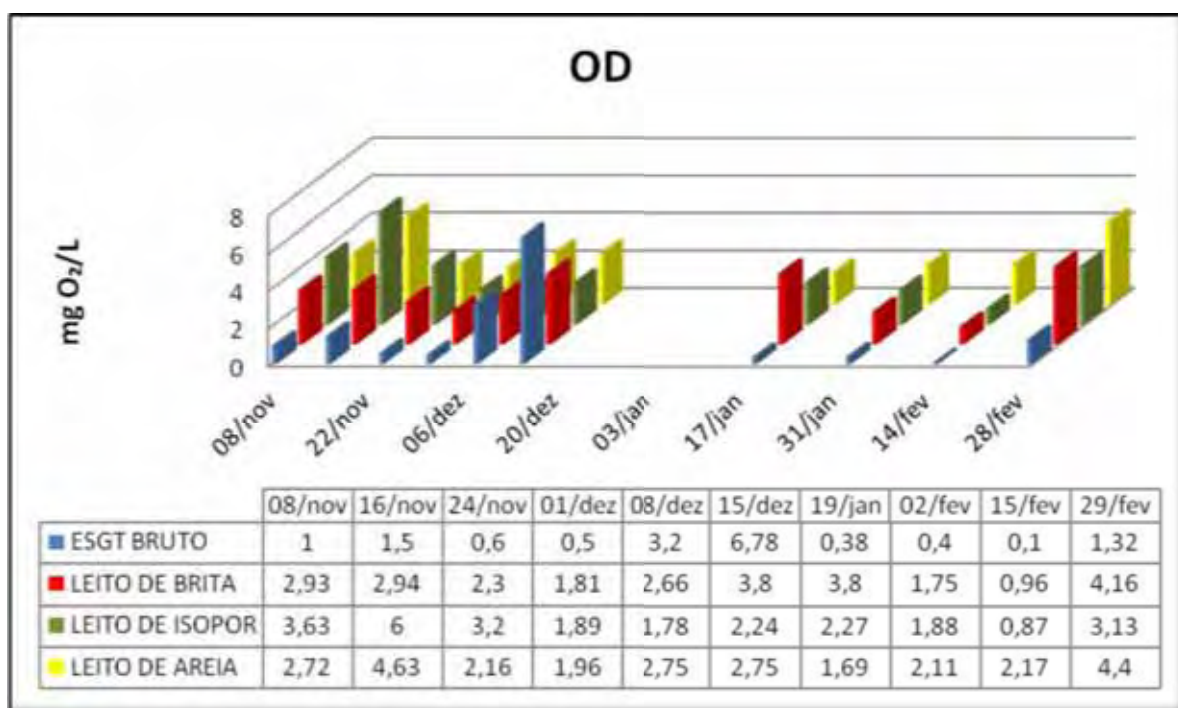
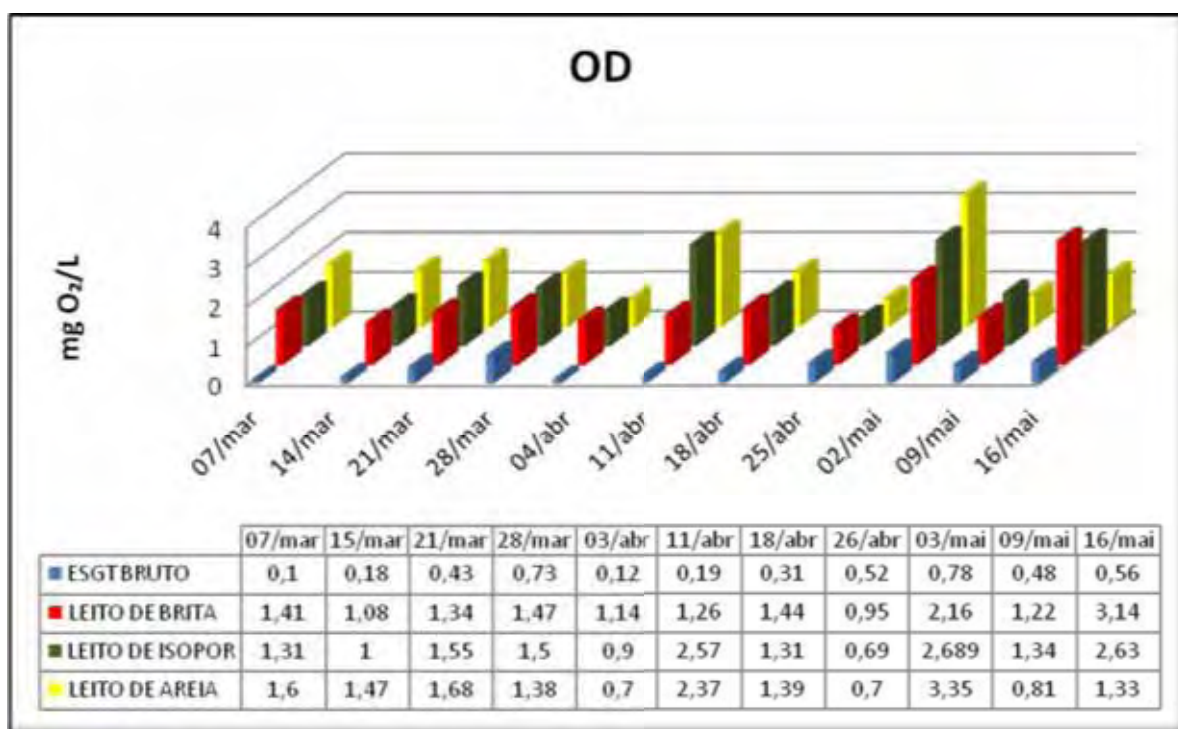




Gráfico 10 Concentração de OD na segunda fase de análise



Nota-se que há um aumento nos níveis de OD em todos os leitos, isto mostra a influência do conjunto vegetação e meio suporte no aumento desta taxa.

Os resultados obtidos com a análise estatística do Teste de hipótese do tipo “t” a 5% ( $p \leq 0,05$ ), mostra que não há diferença significativa entre os leitos. Ou seja, no aumento de OD, os leitos não apresentaram diferença no tratamento do efluente.

### 5.2.8 pH, Alcalinidade e Condutividade

Os valores de pH estiveram sempre em torno de 7 com poucas variações, tanto para o esgoto bruto quanto para os efluentes tratados. Os valores médios de pH para o esgoto bruto foi de 7,4, para o leito de brita foi de 7,5, para o leito de isopor foi de 6,9 e para o leito de areia foi de 6,6. Na segunda fase as médias foram de 7,6 para o esgoto bruto, 6,6 para o leito de brita, 6,4 para o leito de isopor e 6,3 para o leito de areia. O processo de decomposição da matéria orgânica ocorre no sistema de forma predominantemente anaeróbica. Na acidogênese, a formação de ácidos propicia a queda do pH, o que pode explicar os valores obtidos. Os gráficos 11 e 12 apresentam os valores de pH em cada fase de análise.

Gráfico 11 Valores de pH na primeira fase de análise

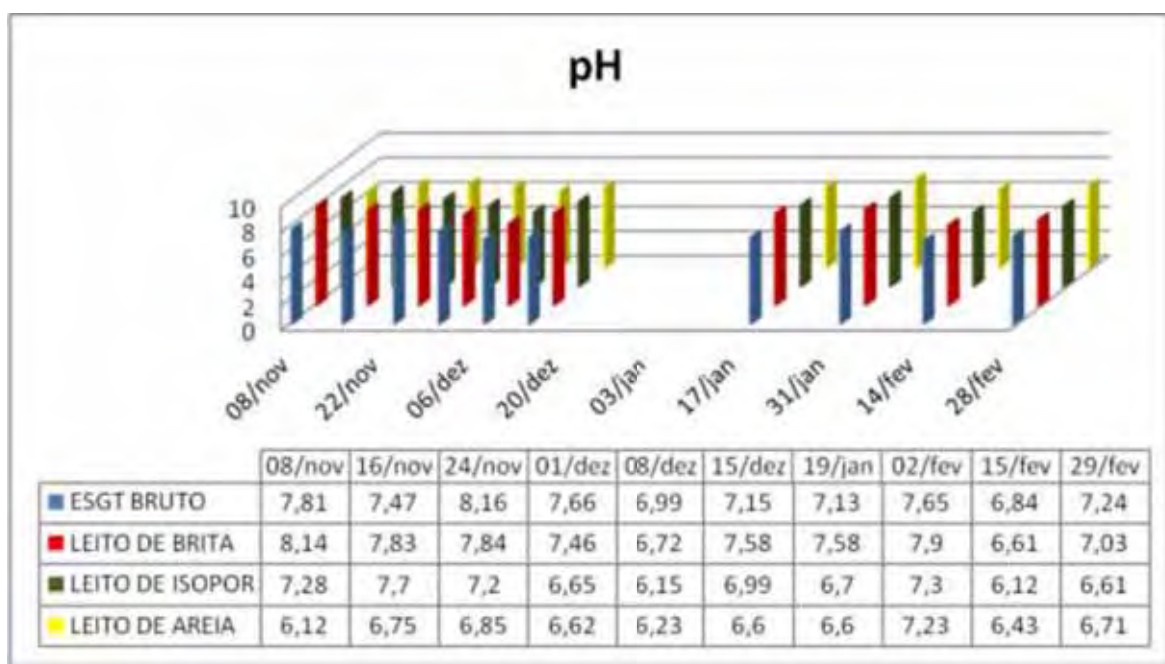
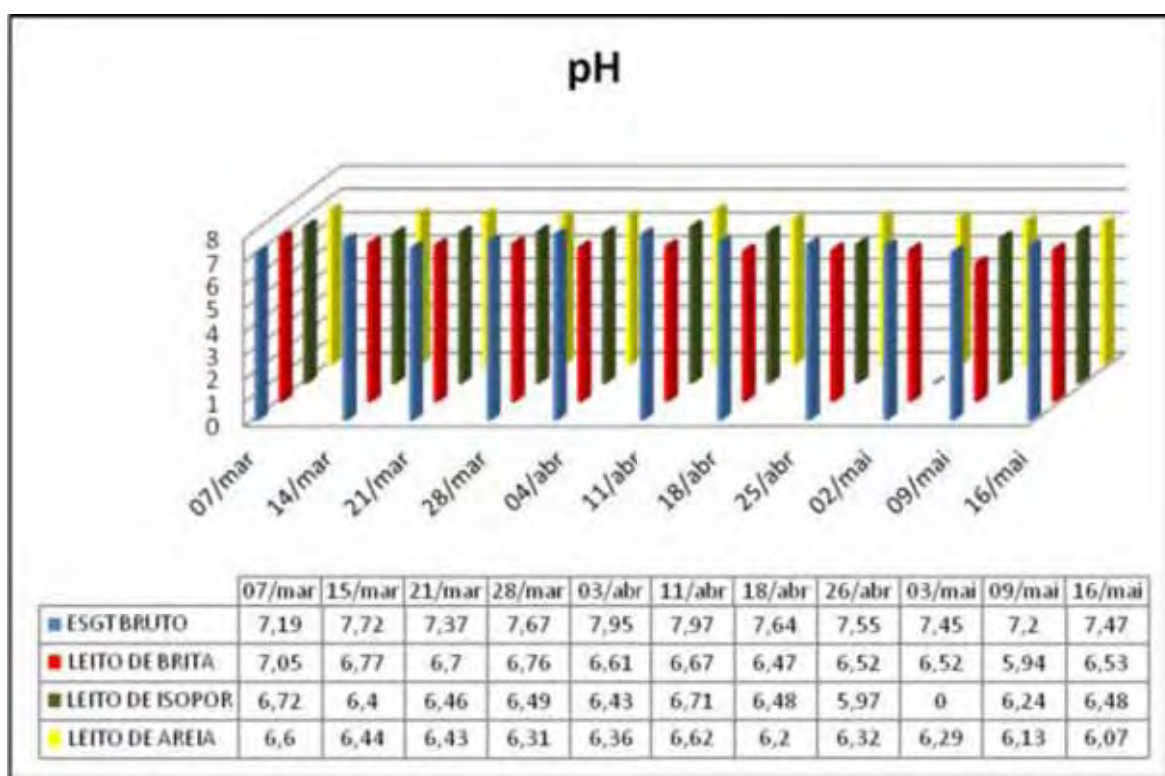


Gráfico 12 Valores de pH na segunda fase de análise



Na primeira fase de análise os níveis de alcalinidade não tiveram variações consideráveis no sistema. Na segunda fase, pode-se evidenciar o aumento dos valores de alcalinidade, isto pode ser explicado provavelmente pela decomposição da matéria orgânica e do processo de respiração das raízes que acrescenta dióxido de carbono ao meio. Os gráficos 13 e 14 apresentam os valores de alcalinidade em cada fase de análise.

Gráfico 13 Concentração de alcalinidade na primeira fase de análise

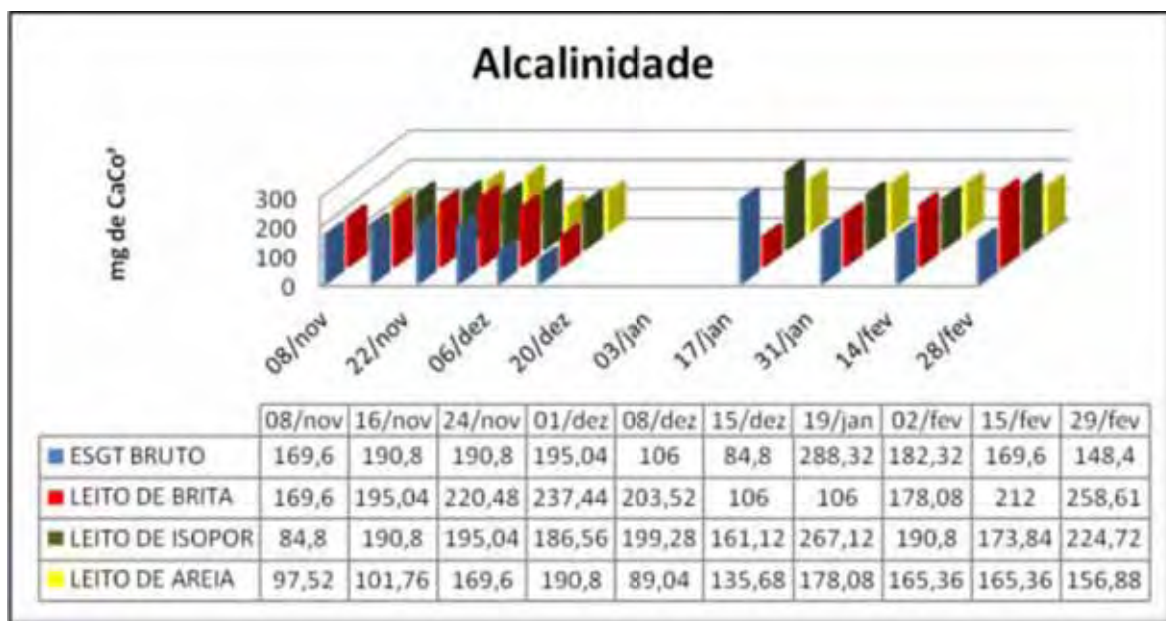
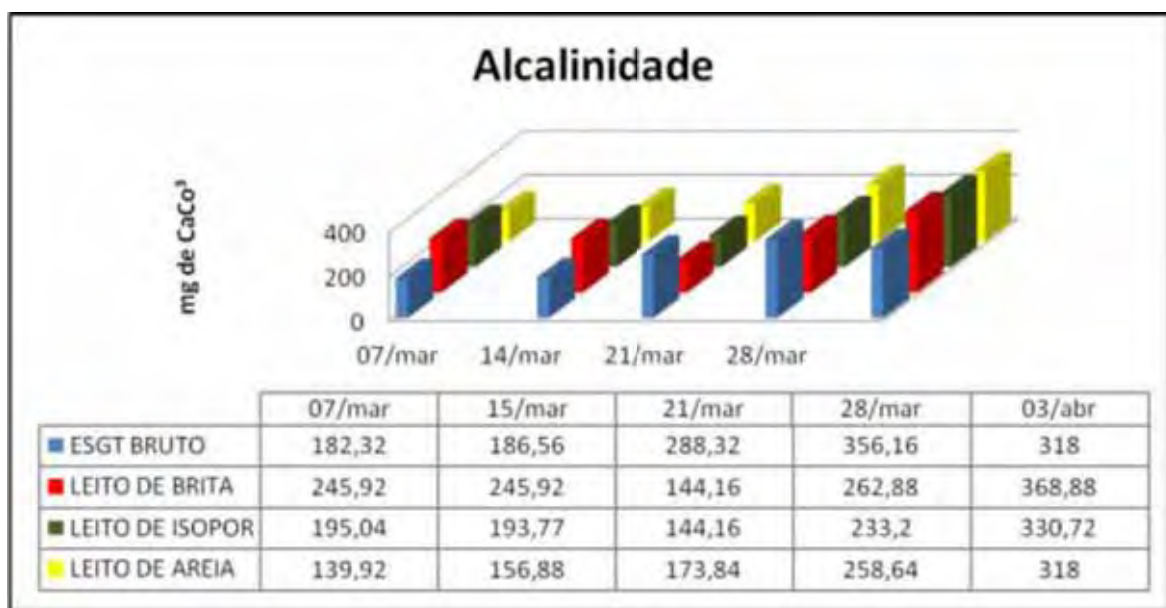


Gráfico 14 Concentração de alcalinidade na segunda fase de análise



### 5.2.9 Nutrientes

O fósforo presente nos esgotos é composto de fósforo orgânico e fosfatos. O fosfato pode precipitar-se na forma de hidroxiapatita ou estruvita, em lagoas especialmente rasas, a remoção de fósforo pode ser elevada, já em lagoas facultativas e aeradas, a eficiência de remoção é mais baixa (van Haandel e Lettinga, 1994. von Sperling, 2002).

Na primeira fase de análise, o valor médio de fosfato que entrou no sistema foi de 9,82 mg/L. A eficiência média de remoção de fosfato para cada leito foi de 32,2% para o leito de brita, 27,1% para o leito de isopor e 57,8% para o leito de areia. Na segunda fase de análise, o valor médio de fosfato que entrou no sistema foi de 14,5 mg/L. A eficiência média de remoção de fosfato para cada leito foi de 53,3% para o leito de brita, 9,6% para o leito de isopor e 89 % para o leito de areia. Os gráficos 15 e 16 apresentam as concentrações de fosfato em cada fase de análise.

Gráfico 15 Concentração de fosfato na primeira fase de análise

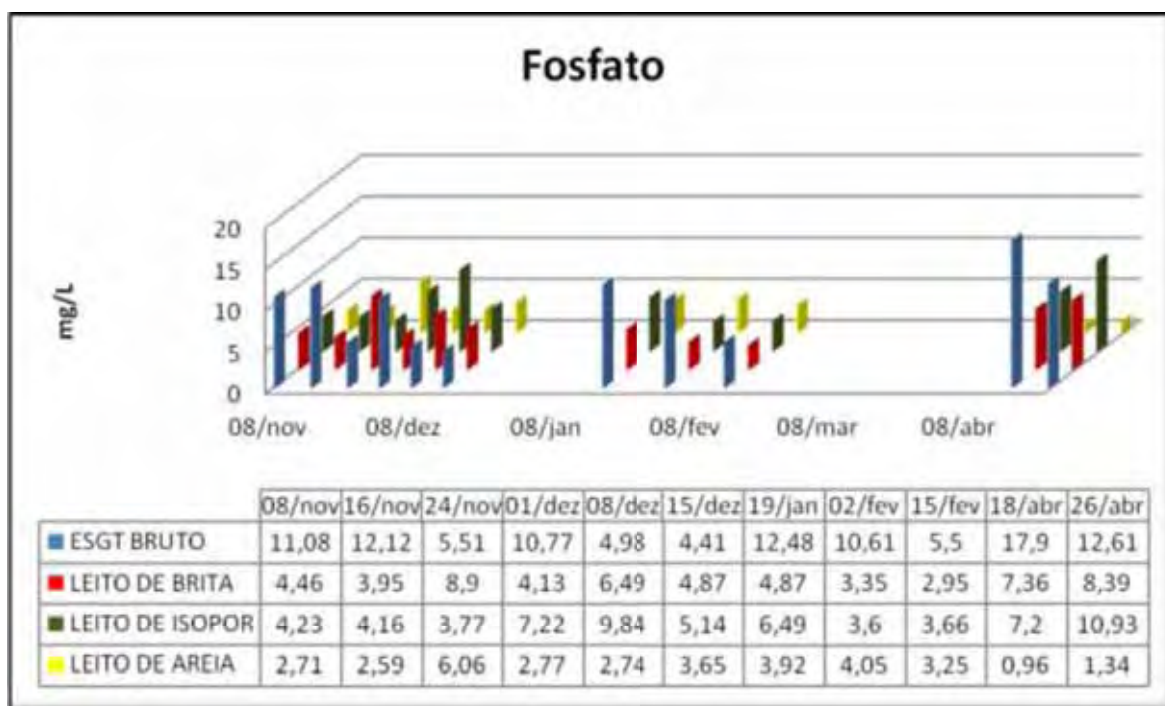
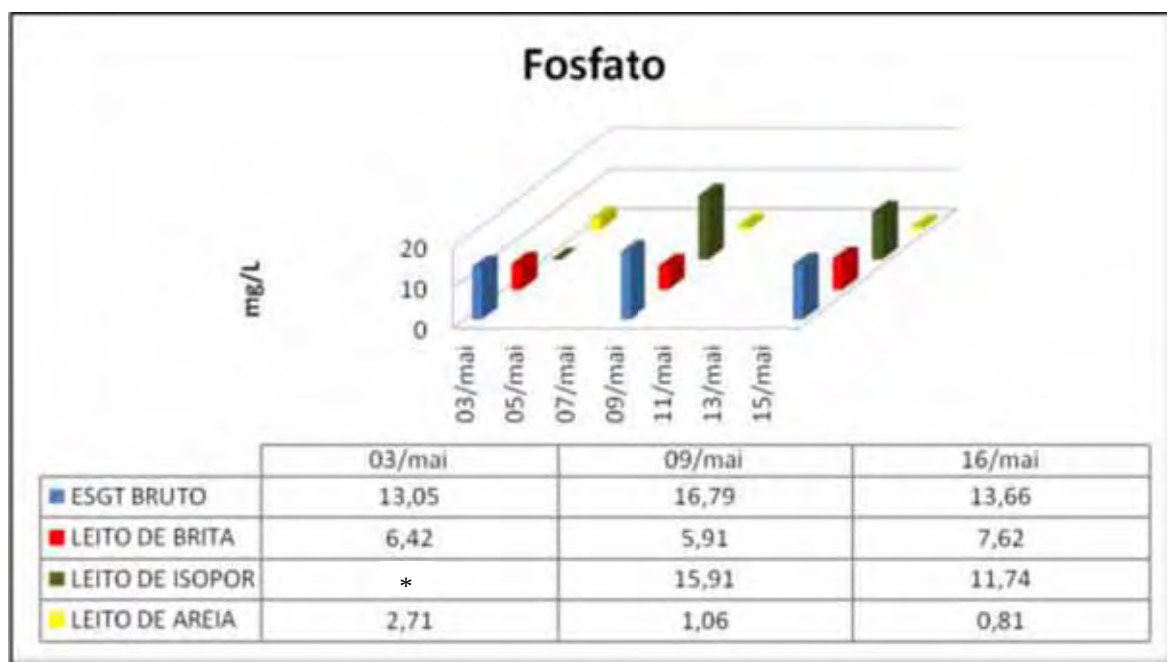


Gráfico 156 Concentração de fosfato na segunda fase de análise



\* valor não obtido

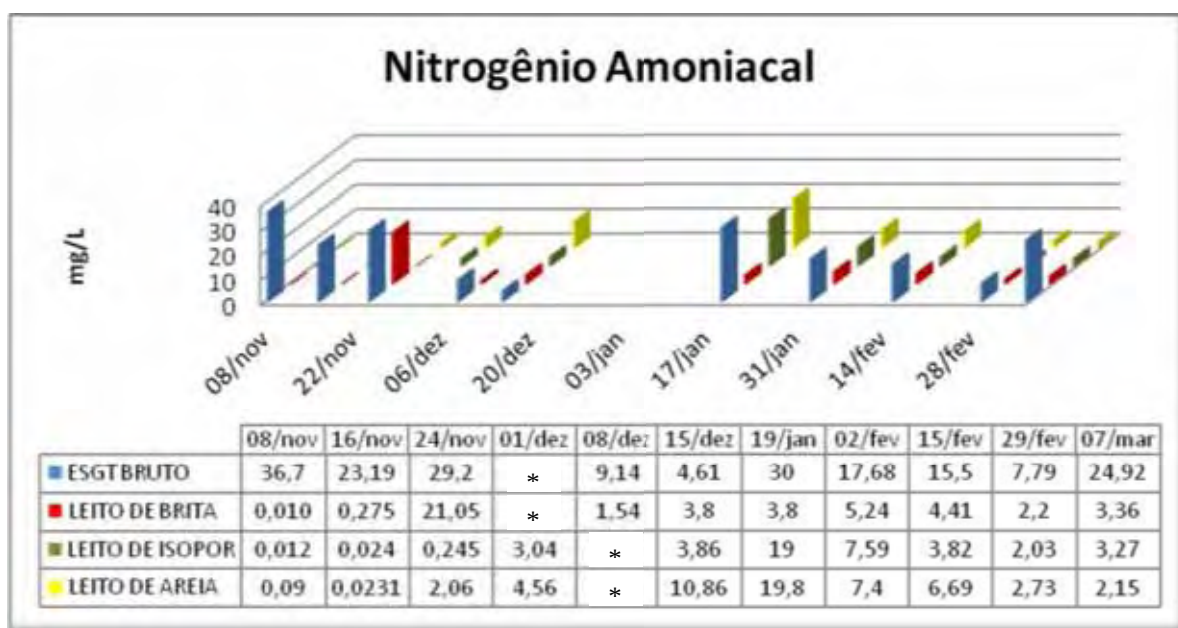
Os resultados obtidos com a análise estatística do Teste de hipótese do tipo “t” a 5% ( $p \leq 0,05$ ), mostra que há diferença significativa entre os leitos. Ou seja, na remoção de fosfato, os leitos apresentaram diferença no tratamento do efluente.

A remoção de nitrogênio em sistemas anaeróbios é mais difícil de ocorrer pelo processo microbiológico. O ciclo do nitrogênio em ambientes sem oxigênio ocorre com a decomposição do nitrogênio orgânico para o nitrogênio amoniacal.

Na primeira fase de análise, concentração média de nitrogênio amoniacal que entrou no sistema foi de 19,87 mg/L, a eficiência média de remoção para cada leito foi de 71,5% para o leito de brita, 71,7% para o leito de isopor e 74,7% para o leito de areia. Na segunda fase de análise o valor médio de nitrogênio amoniacal que entrou no sistema foi de 55,3 mg/L, a eficiência média de remoção para cada leito foi de 75% para o leito de brita, 68,8% para o leito de isopor e 74,5% para o leito de areia. Os valores obtidos em cada fase das análises pode ser observado nos gráficos 17 e 18.

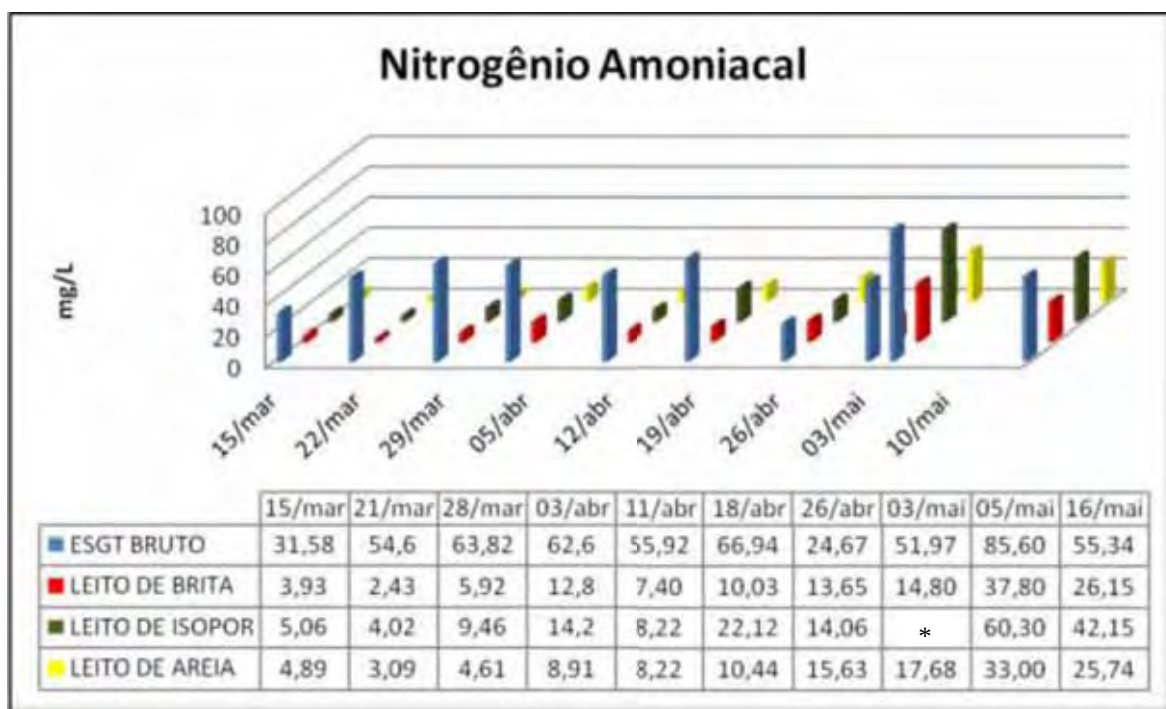


Gráfico 167 Concentração de nitrogênio amoniacal na primeira fase de análise



\* valor não obtido

Gráfico 17 Concentração de nitrogênio amoniacal na segunda fase de análise

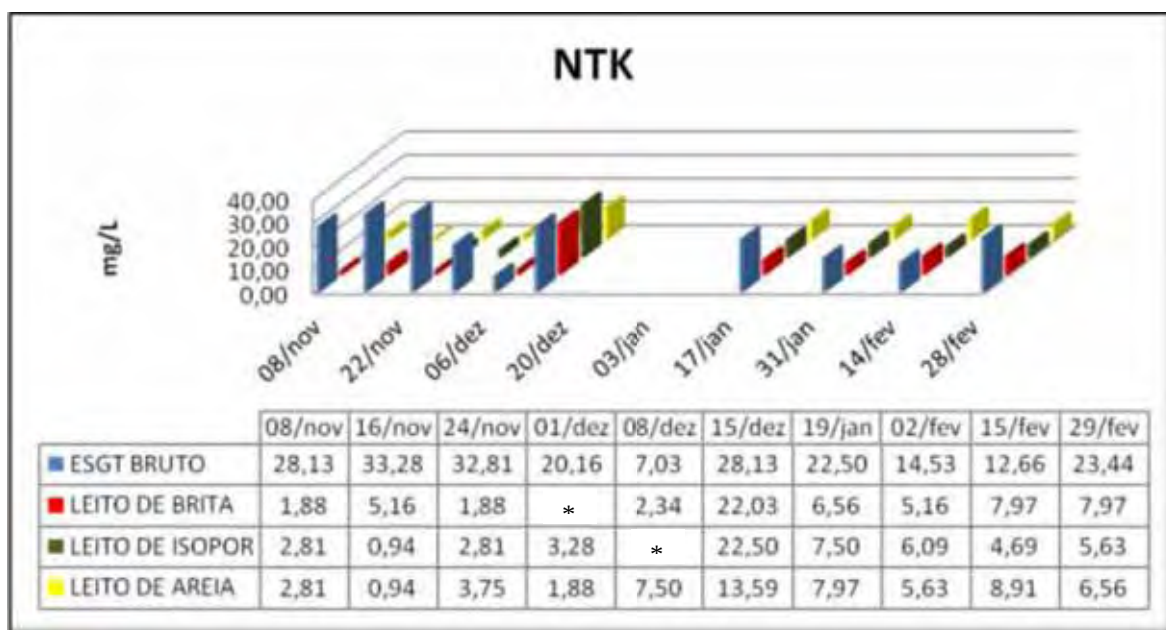


\* valor não obtido

Os resultados obtidos com a análise estatística do Teste de hipótese do tipo “t” a 5% ( $p \leq 0,05$ ), mostra que não há diferença significativa entre os leitos. Ou seja, na remoção de nitrogênio amoniacal, os leitos não apresentaram diferença no tratamento do efluente.

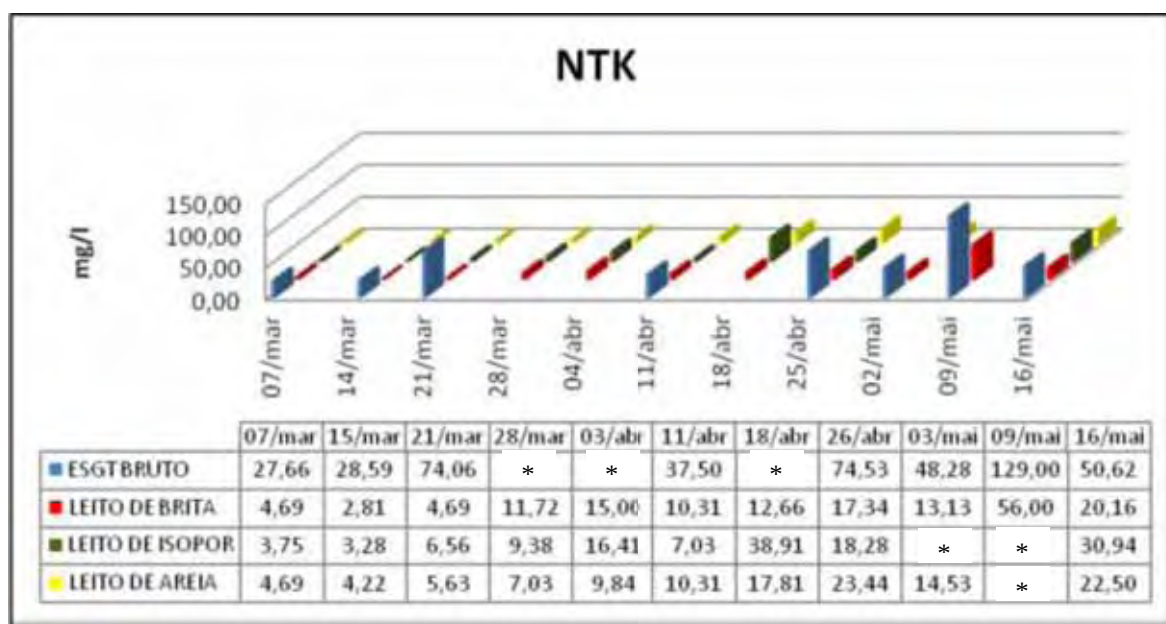
O nitrogênio total Kjeldahl apresentou concentração média de entrada 22,3 mg/L, a eficiência média de remoção para cada leito foi de 66,5% para o leito de brita, 71,8% para o leito de isopor e 71,7% para o leito de areia. Na segunda fase de análise o valor médio de nitrogênio amoniacal que entrou no sistema foi de 58,8 mg/L, a eficiência média de remoção para cada leito foi de 75,7% para o leito de brita, 77,0% para o leito de isopor e 75,3% para o leito de areia. Os valores obtidos em cada fase das análises pode ser observado nos gráficos 19 e 20.

Gráfico 18 Concentração de NTK na primeira fase de análise



\* valor não obtido

Gráfico 2019 Concentração de NTK na segunda fase de análise



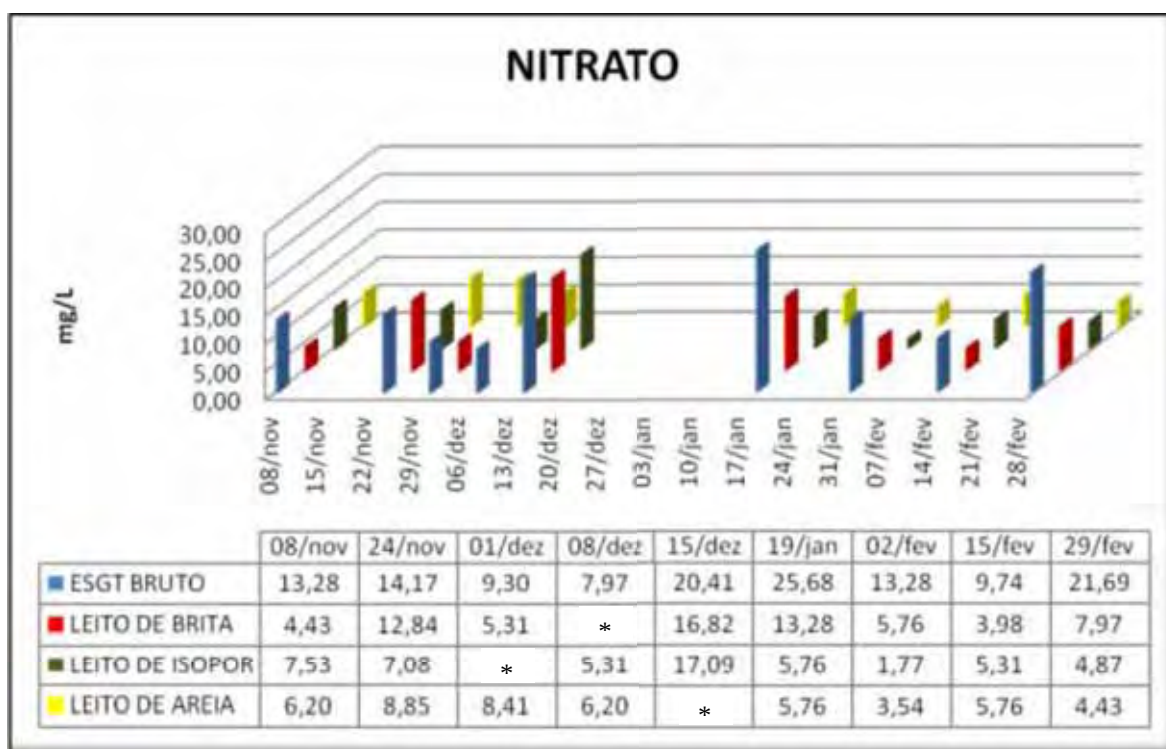
\* valor não obtido

Os resultados obtidos com a análise estatística do Teste de hipótese do tipo “t” a 5% ( $p \leq 0,05$ ), mostra que não há diferença significativa entre os leitos. Ou seja, na remoção de nitrogênio total Kjeldahl, os leitos não apresentaram diferença no tratamento do efluente.

Na primeira fase de análise, concentração média de nitrato que entrou no sistema foi de 15,05 mg/L, a eficiência média de remoção para cada leito foi de 45,4% para o leito de brita, 53,7% para o leito de isopor e 49,2% para o leito de areia. Na segunda fase de análise o valor médio de nitrato que entrou no sistema foi de 19,6 mg/L, a eficiência média de remoção para cada leito foi de 63,3% para o leito de brita, 76,1% para o leito de isopor e 75,9% para o leito de areia. Os valores obtidos em cada fase das análises pode ser observado nos gráficos 21 e 22.

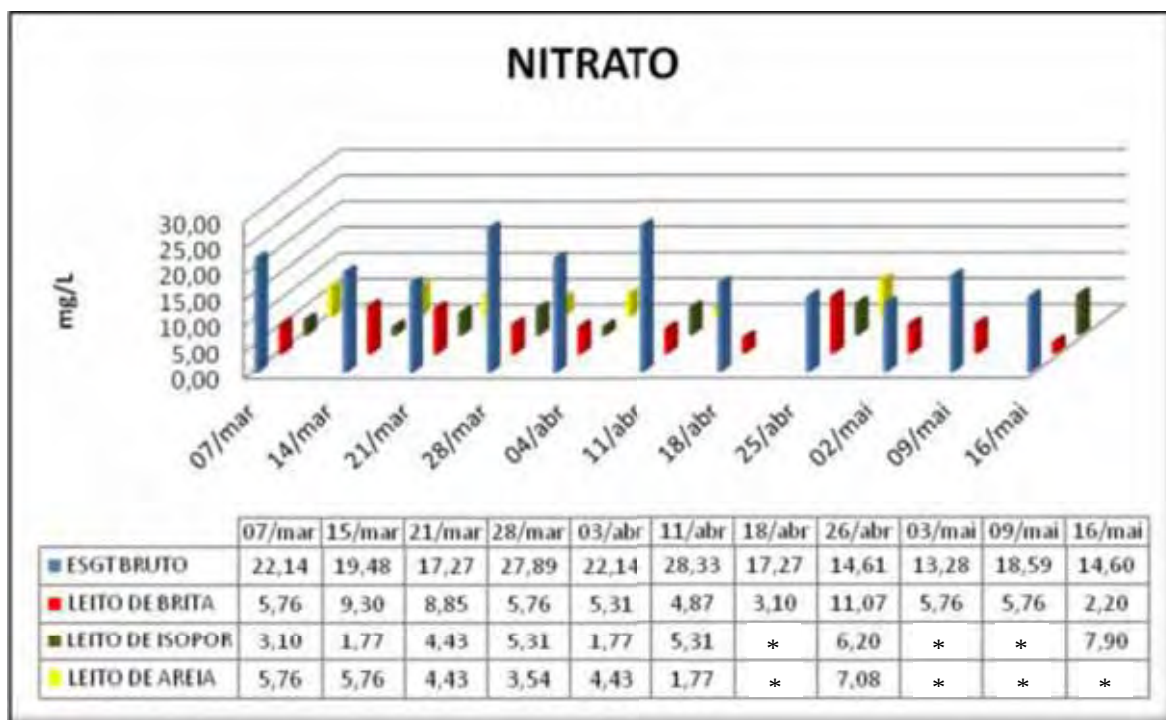


Gráfico 201 Concentração de nitrato na primeira fase de análise



\* valor não obtido

Gráfico 212 Concentração de nitrato na segunda fase de análise

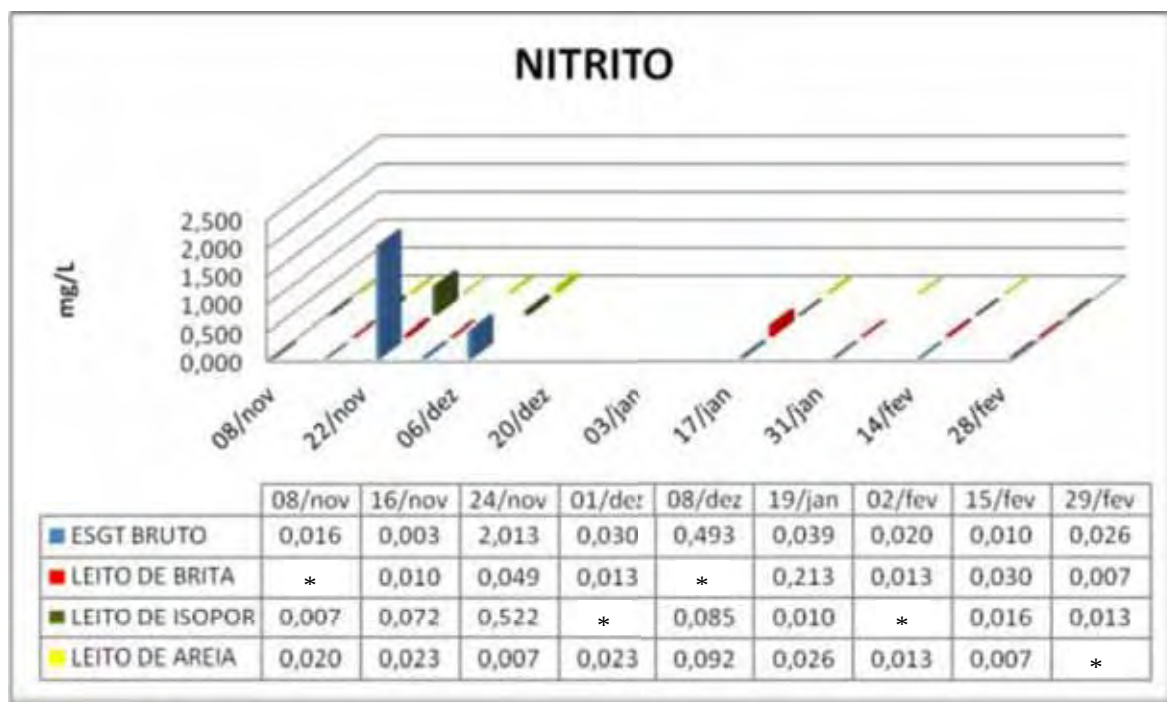


\* valor não obtido

Os resultados obtidos com a análise estatística do Teste de hipótese do tipo “t” a 5% ( $p \leq 0,05$ ), mostra que não há diferença significativa entre os leitos. Ou seja, na remoção de nitrato, os leitos não apresentaram diferença no tratamento do efluente.

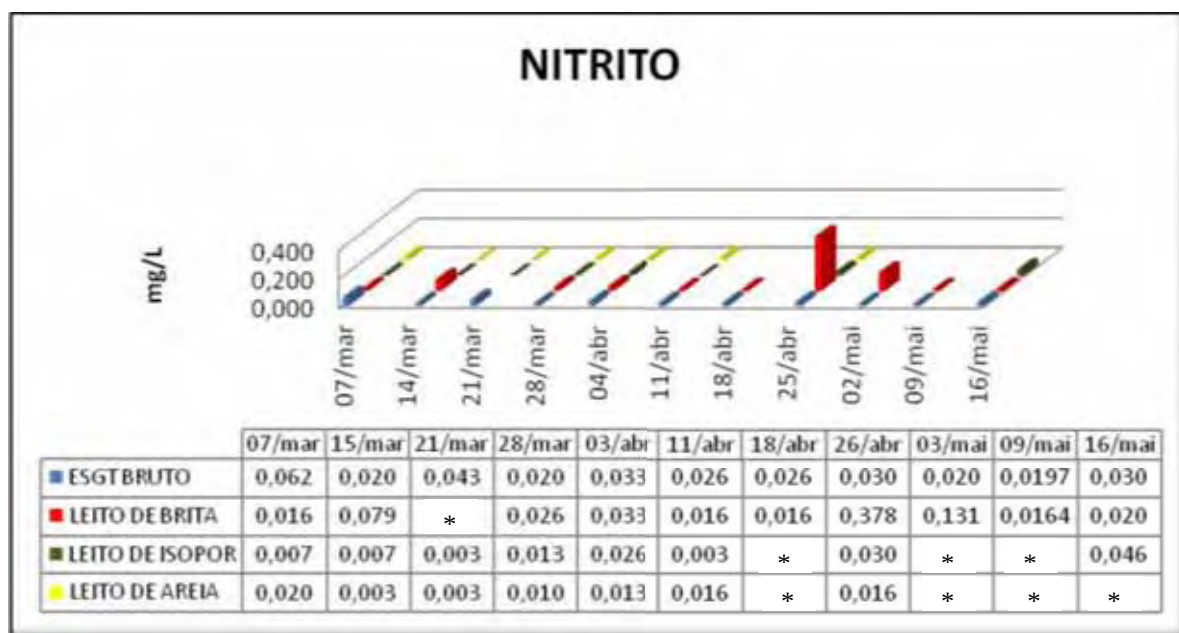
Na primeira fase de análise, concentração média de nitrito que entrou no sistema foi de 0,29 mg/L, a eficiência média de remoção para cada leito foi de 65,3% para o leito de brita, 69,3% para o leito de isopor e 50,5% para o leito de areia. Na segunda fase de análise o valor médio de nitrato que entrou no sistema foi de 0,03 mg/L, a eficiência média de remoção para cada leito foi de 39,7% para o leito de brita, 64,8% para o leito de isopor e 62,3% para o leito de areia. Os valores obtidos em cada fase das análises pode ser observado nos gráficos 23 e 24.

**Gráfico 223 Concentração de nitrito na primeira fase de análise**



\* valor não obtido

Gráfico 234 Concentração de nitrito na segunda fase de análise



\* valor não obtido

Os resultados obtidos com a análise estatística do Teste de hipótese do tipo “t” a 5% ( $p \leq 0,05$ ), mostra que não há diferença significativa entre os leitos. Ou seja, na remoção de nitrito, os leitos não apresentaram diferença no tratamento do efluente.

### 5.2.10 *Coliformes*

A capacidade de remoção de microrganismos do sistema foi baseada na verificação dos indicadores: coliformes totais e termotolerantes.

Na primeira fase de análise, a concentração média de coliformes totais no efluente de entrada do sistema estava na ordem de grandeza de  $10^6$ , ao percolar pelos leitos a concentração média passou para ordem de grandeza média de  $10^5$  para o leito de brita,  $10^4$  para o leito de isopor e  $10^5$  para o leito de areia, ou seja, as concentrações foram reduzidas em 1 e 2 ordens de grandeza. As eficiências médias de remoção foram de 54% para o leito de brita, 75% para o leito de isopor e 75% para o leito de areia.

Na segunda fase de análise a concentração média de coliformes totais no efluente de entrada do sistema estava na ordem de grandeza de  $10^2$ , ao percolar pelos leitos a concentração média passou para ordem de grandeza média de  $10^2$  para o leito de brita,  $10^2$  para o leito de isopor e  $10^1$  para o leito de areia, ou seja, as concentrações para o leito de brita e isopor não foram reduzidas de forma significativa, já para o leito de areia foi

reduzida em 1 ordem de grandeza. As eficiências médias de remoção foram de 41% para o leito de brita, 40,2% para o leito de isopor e 67,5% para o leito de areia. Os gráficos 25 e 26 apresentam as concentrações de coliformes totais na primeira e segunda fase de análise.

Gráfico 245 Concentração de coliformes totais na primeira fase de análise

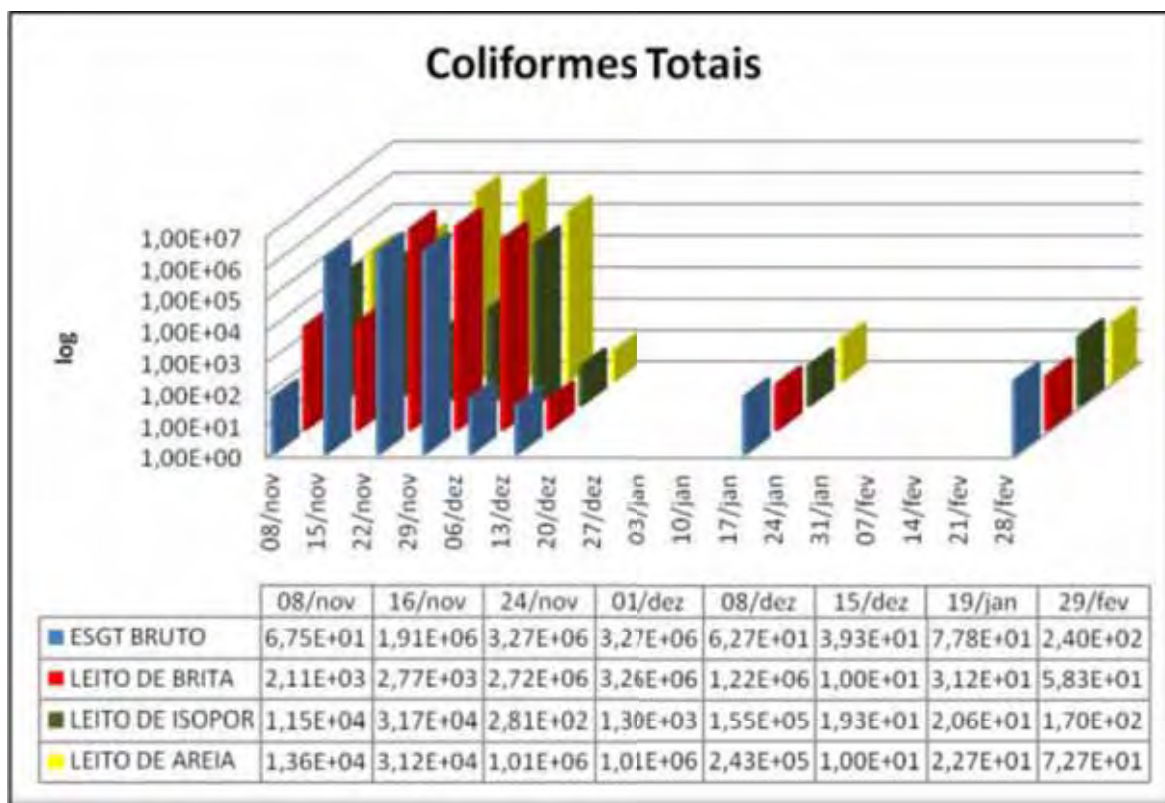
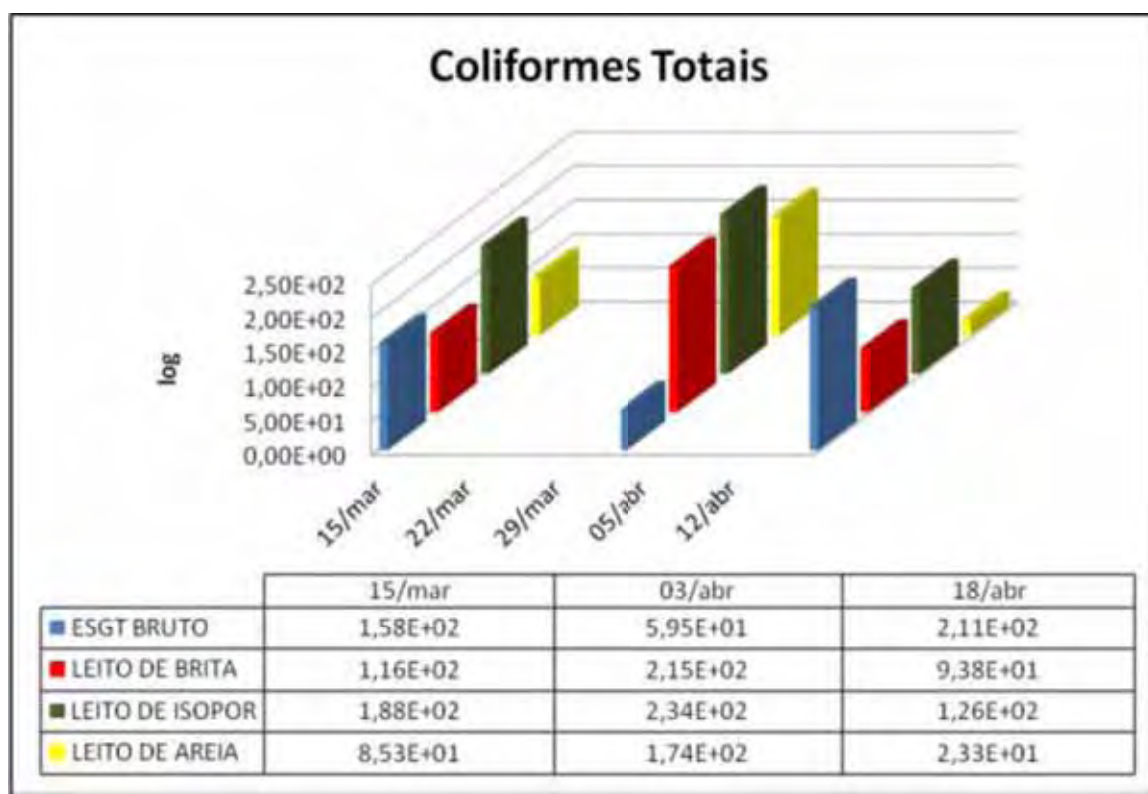


Gráfico 256 Concentração de coliformes totais na segunda fase de análise



Na primeira fase de análise, a concentração média de coliformes termotolerantes no efluente de entrada do sistema estava na ordem de grandeza de  $10^1$ , ao percolar pelos leitos a concentração média passou para ordem de grandeza média de  $10^1$  para o leito de brita,  $10^0$  para o leito de isopor e  $10^1$  para o leito de areia, ou seja, as concentrações para o leito de brita e areia não foram reduzidas de forma significativa, já para o leito de isopor foi reduzida em 1 ordem de grandeza. As eficiências médias de remoção foram de 72,9% para o leito de brita, 81,1% para o leito de isopor e 50,9% para o leito de areia.

Na segunda fase de análise a concentração média de coliformes termotolerantes no efluente de entrada do sistema estava na ordem de grandeza de  $10^1$ , ao percolar pelos leitos a concentração média passou para ordem de grandeza média de  $10^1$  para o leito de brita,  $10^1$  para o leito de isopor e  $10^1$  para o leito de areia, ou seja, as concentrações não foram reduzidas de forma significativa. As eficiências médias de remoção foram de 64,3% para o leito de brita, 55,2% para o leito de isopor e 51,3% para o leito de areia. Os gráficos 27 e 28 apresentam as concentrações de coliformes totais na primeira e segunda fase de análise.



Gráfico 267 Concentração de coliformes termotolerantes na primeira fase de análise

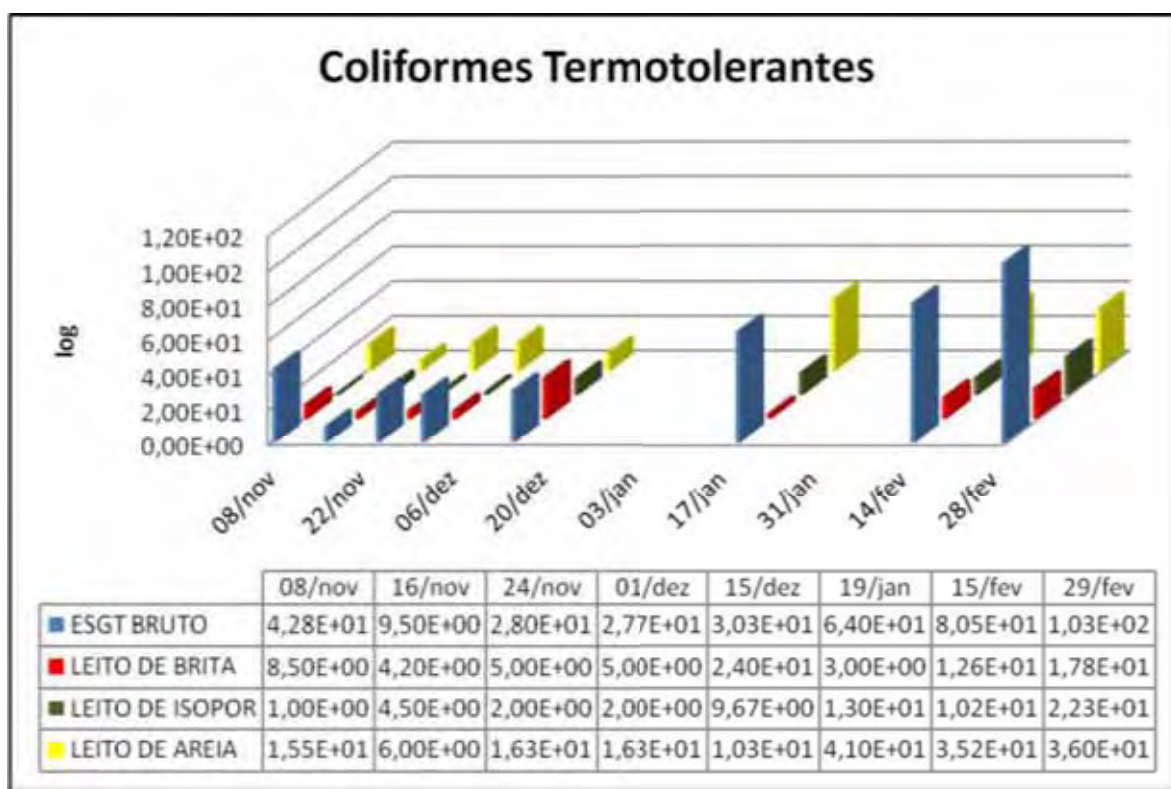
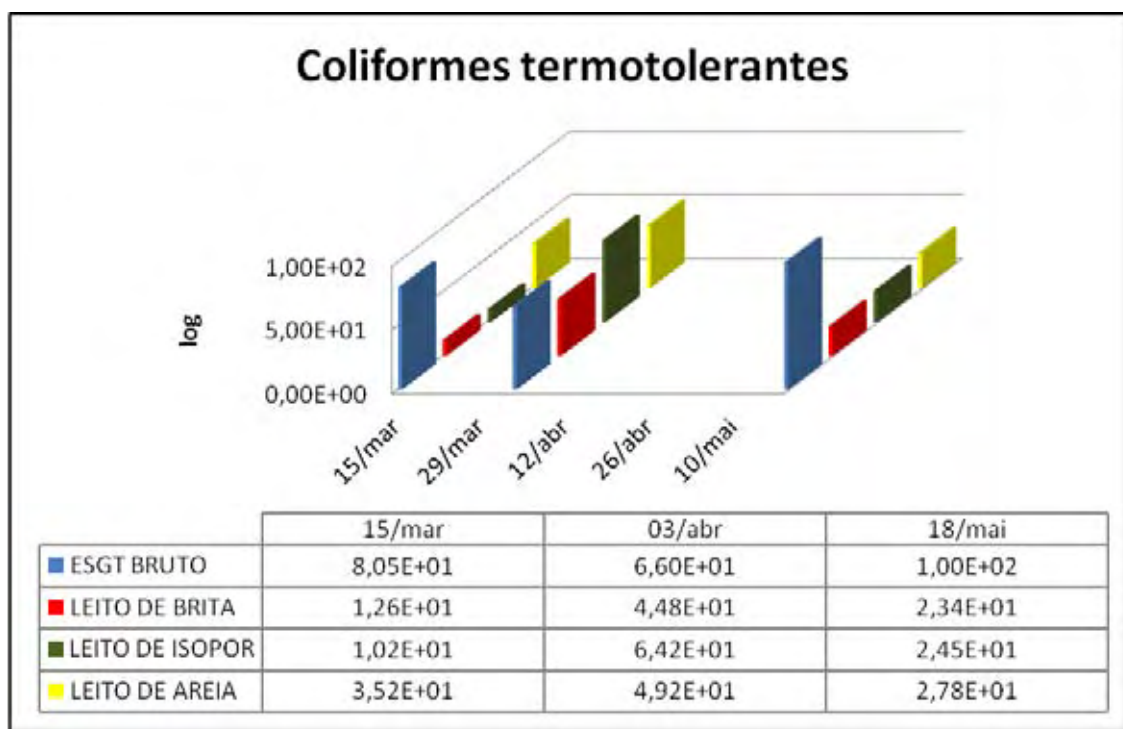


Gráfico 27 Concentração de coliformes termotolerantes na segunda fase de análise



## 6 Conclusões

O Sistema de Tratamento de esgoto por Alagados Construídos de fluxo subsuperficial e escoamento horizontal plantado com capim Vetiver mostrou-se eficaz no pós-tratamento de esgoto doméstico, proporcionando melhorias na qualidade do efluente.

O leito com substrato de isopor se mostrou como um ótimo substrato, estando com índices de qualidade muito bons em quase todos os parâmetros analisados, quando comparado aos leitos de brita e areia, portanto ele se mostra como um ótimo matéria de substrato por se tratar de um material barato, fácil obtenção e que tem seu processo de reciclagem convencional muito caro.

O capim Vetiver se mostrou uma planta de fácil cultivo, e rápido crescimento.

Com as análises de coliformes conclui-se que se faz necessário o uso de algum tipo de desinfecção quando se desejar reutilizar este efluente.

Por meio da análise estatística pode se concluir que os três leitos não apresentam diferença significativa no tratamento para a remoção de matéria orgânica, porém a diferença aparece nos parâmetros cor, sólidos e fosfato, mostrando que o meio suporte influência de forma direta na taxa de remoção dos parâmetros.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the examination of Water and Wastewater**. 21 ed. Baltimore, 2005.

ARIAS C. A., BRIX H. AND GARZA M. F. **Alternative for phosphorus removal in subsurface flow constructed wetlands**. Book of the Conference of International Meeting on phytodepuration, p. 73-79. Lorca, Spain, 2005.

AVELINO, M. C. G. S.; OLIVEIRA, E.L; VON DREIFUS, T; MIRANDA-SANTOS, L. **Construção de uma estação de tratamento de esgoto na UNESP de Bauru/SP utilizando o sistema de alagados construídos**. In: VII FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA, 2011, Tupã. Fórum Ambiental da Alta Paulista, 2011.

BOLETÍN VETIVER. Maracay, Venezuela: RLAV - Red Latinoamericana del Vetiver, n. 14, oct. 2006.

BRIX, H. **“Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands?”** Water Science e Technology. v. 35, n. 5, p. 11-17, 1997.

BRIX, H. **Wasterwater treatment in Constructed Wetlands: System Design, Removal Processes, and Treatment Performance**. In: MOSHIRI, G.A. (ed.) **Constructed Wetlands for Water Quality Improvement**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1993.

BRIX, H., **Functions of macrophytes in constructed wetlands**. *Wat. Sci. Tech.* 29: 71-78, 1994.

CASSINI, S.T. **“Ciclo do Nitrogênio”**. Universidade Federal do Espírito Santo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Apostila da disciplina biotecnologia ambiental, 2006. Disponível em: <http://www.inf.ufes.br/~neyval/gestaoambiental/tecnologiasambientais2005/ecologia/cicloNPS.doc>. Acesso em: 12 de novembro de 2011.

CAIRNCROSS, S.; FEACHEM, R. G. **Environmental health engineering in the tropics an introductory text**. 2 ed. Chichester/New York/Brisbane/Toronto/ Singapore: John Wiley & Sons, 1990. 283 p

CAZZUFFI, D.; CORNEO, A.; CRIPPA, E. **Slope stabilisation by perennial “gramineae”**. In Southern Italy: plant growth and temporal performance. *Geotechnical and Geological Engineering*, Italy, n. 24, p. 429-447, 2006.

CONLEY, S.C. COOPER, B.S. **The School as a Work Environment: Implications for Reform**, 1991. Boston: Allyn & Bacon.

COSTA, L.L. CEBALLOS, B.S.O, MEIRA, C.M.B.S. CAVALCANTI, M.L.F. **Eficiência de wetlands construídos com dez dias de detenção hidráulica na remoção de colífagos e bacteriófagos**, 2003. *Revista de Biologia e Ciência da Terra*, 3(1), 1-23.



COOPER, P. GREEN, B. **Reed bed treatment systems for sewage treatment in the United Kingdom – The First 10 years Experience**, 1995. Water Science e Technology, 32(3), 317-327.

COOPER, P. **A review of the design and performance of vertical-flow and hybrid reed bed treatment systems**, 1999. Water Science e Technology, 40(3), 1-9.

COOPER, P. Griffin, P, Humphries, S e pound, A. **Design of a hybrid reed bed system to achieve complete nitrification and denitrification of domestic sewage**, 1999. Water Science e Technology, 40(3), 283-289.

CUNHA, C.A.G. **Análise da eficiência de um sistema combinado de alagados construídos na melhoria da qualidade das águas**. Dissertação de mestrado. EESC. São Carlos, 2006.

DAVIS, L. **A handbook of constructed wetlands: A guide to creating wetlands for agricultural wastewater, domestic wastewater, coal mine drainage, stormwater in the Mid-Atlantic Region**. ISBN: 0160529999, 1995.

DUARTE, S. **Estudos das potencialidades das zonas húmidas artificiais no tratamento de efluentes aquícolas**. 2002. 44f. Trabalho de conclusão de curso- Instituto Superior Técnico, 2002.

HAMMER, D. A. (editor); **Constructed wetlands for wastewater treatment: municipal, industrial and agricultural**, 831p. Lewis Publishers, 1989.

HELLER, L. **Saneamento e Saúde**, 1997. Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde/Organização Mundial da Saúde.

JORDÃO, E. P. PESSOA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4. Ed. Belo Horizonte: Segrac Editora, 2005, v. 1. 906p.

IWA Specialist group on the use of macrophytes in water pollution control, **Constructed wetlands for pollution control: processes, performance, design and operation – scientific and technical report n.8**. London –UK. IWA Publishing 2000. 156p.

JENKINSON, D. S., LADD, J. N. **Microbial biomass in soil: measurement and turnover**, 1981. Soil Biochemistry, 5, 415-471.

KARPISCAK, M.M. WASS, R.D. FREITAS, R.J. e HOPF S. B. **Constructed wetlands in Southern Arizona**. Arid Lands Newsletter, n° 45, 1999. Disponível em: <http://ag.arizona.edu/OALS/ALN/aln45/wetlands.html>. Acesso em: 6 de outubro de 2011.

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

KADLEC, R. H. e KNIGHT, R. L. **Treatment wetlands**. Lewis Publishers. 1995. 893p  
KARPISCAK, M.M. WASS, R.D. FREITAS, R.J. E HOPF, D.B. **Constructed wetlands in Southern Arizona**. Arid Lands Newsletter, 1999. n° 45. Disponível em: <http://ag.arizona.edu/OALS/ALN/aln45/wetlands.html>. Acesso em: 6 de novembro de 2011.

LEITÃO, T. E., BARBOSA, A.E., IKÄVALKO, V.M., MENEZES, J.M., ZAKHAROVA, T.V. **Avaliação e Gestão Ambiental das águas de escorrência de estradas**, 2002. 2º Relatório, Relatório 205/02 –GIAS/DH, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 71p.

MASI, F. **Constructed wetland for wastewater treatment**. Disponível em [http://www.igidrat.it/cw/fitodepu\\_eng.htm](http://www.igidrat.it/cw/fitodepu_eng.htm). Acesso em 18 de novembro, 2011.

MAZZOLA, M., **Uso de leitos cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluentes de reator anaeróbio compartimentado**. Dissertação (mestrado) – Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, 2003. 98p.

MEIRA, C. M. B. **Utilização de terras úmidas no tratamento de águas superficiais poluídas: Influência do tipo de leito e de macrófita**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, 2004. Campina Grande, João Pessoa.

METCALF & EDDY. Inc. **Wastewater Engineering treatment Disposal Reuse**. 4. ed. New York, McGraw - Hill Book, 1815p. 2003.

MOREIRA, F.M.S. e SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 625p. 2002.

NAIME, R. e GARCIA, A.C. **Utilização de Enraizadas no Tratamento de Efluentes Agroindustriais**. Estudos tecnológicos - Vol. 1, nº 2, p.9-20 - jul/dez 2005.

ODUM, E.P. **Ecologia**. Guanabara Koogan, 1983. Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, E. L; TALAMONI, J. L. B; ENOKIBARA, M; FILHO, G. S. C; NETO, L. C. **Alagados Construídos no tratamento de águas residuárias do Jardim Botânico Municipal de Bauru/SP**. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

PAGANINI, W. S. **"Disposição de Esgotos no Solo: (escoamento a superfície)"**, 1997. São Paulo: Fundo Editorial da AESABESP

PEREIRA, A.R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle da erosão**. Belo Horizonte: Editora Fapi Ltda., 2006. 150 p.

PEREZ, L.S.S., RAMOS, M.L.G. E McMANUS, C. **Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja, sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados**, 2005. Pesquisa agropecuária Brasileira, 40(2), 137-144.

PHILLIPI, S. L. e SEZERINO, P. H. **Aplicação de Sistemas Tipo Wetlands no Tratamento de Águas Residuárias: Utilização de Filtros Plantados com Macrófitas**. Florianópolis-SC, 2004. 1ª ed. 444p.

ROSTON, D. M.; COLLAÇO A. B., **Leitos cultivados: Pneu picado como meio suporte**. In 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003 – Joinville – Santa Catarina. Anais eletrônicos.

RODRIGUES, J. “**A água do imaginário da urbanidade**”. Jornal a Página, nº 78, ano 8, página 10, 1999.

SALATI, E. F., SALATI, E., SALATI, E. **Wetland projects development Brasil**. Water Science e Technology, 40(3). 1999. 19-25

SEZERINO, P.H., REGINOTTO, V. SOARES, H.M., PHILIPPI, L.S. “ **Wetlands como polimento de efluentes de lagoas de estabilização de dejetos de suínos – início de operação**”, 2002. Anais do VI Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vitória-ES-Brasil.

SEZERINO et.al. **Sistemas naturais aplicados aos tratamento descentralizado de esgotos: Uso combinado de Lagoas de Estabilização e Filtros Plantados com macrófitas aquáticas (wetlands)** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, 2005, Campo Grande. Anais. Campo Grande: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

SCHIERUP, H.H. BRIX, H. LORENZEN, B. **Wastewater treatment in constructed reed beds in Denmark – state of the art**. In: COOPER, P.F. FINDLATER, B.C. (Ed) Constructed wetlands in water pollution control. Oxford: Pergamon Press, 1990. p.495-504.

SILVA, S. C., “**Wetlands Construídos**” de Fluxo Vertical com Meio Suporte de Solo Natural Modificado no Tratamento de Esgotos Domésticos. xvii, 205p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Doutor, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2007). Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

SILVA, G. H. R., **Reator compartimentado anaeróbio/ aeróbio. Tratamento esgoto sanitário: Desenpenho e Operação**. Dissertação (mestrado) – Campinas: faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2001. 166p.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Disponível em:< <http://www.snis.gov.br/>> Acesso em: 12/03/2012.

SMITH, J.L e PAUL, E.A. **The significance of soil microbial biomass estimations**. Soil Biochemistry, 6, 357-396.

SOARES, A.L. FERREIRA, A.P. **Fito-ETAR's: Alternativa Tecnológica**. Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais, 2001. Colégio Luís Antonio Veney, Universidade de Évora.

THE RAMSAR CONVENTION ON WETLANDS. **Convenção de Ramsar**. Disponível em:< [http://www.ramsar.org/cda/en/ramsar-about-aboutramsar/main/ramsar/1-36%5E7687\\_4000\\_0\\_\\_](http://www.ramsar.org/cda/en/ramsar-about-aboutramsar/main/ramsar/1-36%5E7687_4000_0__)>. Acesso em: 06 jul. 2011.

THE WORLD BANK. **Vetiver Grass: the hedge against erosion**. 4. ed. Washington, D.C.: The World Bank, 1993. 78 p. USEPA, **Subsurface Flow Constructed Wetlands**

**For WasteWater Treatment** – A Technology Assessment. EUA, Office of water, 1993. 87p.

TRUONG, P.N.V.; LOCH, R. **Vetiver system for erosion and sediment control**. In: ISCO - International Soil Conservation Organisation Conference, 13th, 2004, Brisbane.

TSUHAKE, E.M. **Wetlands naturais e construídos**. Disponível em: <[www.eesc.usp.br/sgs/semin2005/edsont1.ppt](http://www.eesc.usp.br/sgs/semin2005/edsont1.ppt)>. Acesso em: 23 de maio de 2012.

USEPA, **Subsurface flow Constructed Wetlands for Wastewater treatment – A Technology assessment**. EUA, Office of Water, 1993.87p.

VALENTIM, M.A.A, **Uso de leitos cultivados no tratamento de efluentes de tanque séptico modificado**. Dissertação (mestrado) – Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, 1999. 119p.

VAN HAANDEL, A. C. E LETTINGA, G. (1994), “**Tratamento anaeróbio de esgotos – Um manual para regiões de clima quente.**” EPGRAF/UFPB, Campina Grande, Brasil, 225 p.

VERHOEVEN, J.T.A. MEULEMAN,A.F.M. **Wetlands for wastewater treatment: Opportunities and limitations**. Ecological Engineering 12. 1999.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuais – Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 1996. V.02, 211p.

VON SPERLING, Marcos. **Lagoas de Estabilização**. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo de adubação**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1991. 343p

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Vol. 1, 3ª ed. Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA: Editora UFMG. 443p. Belo Horizonte, 2005.

VYMAZAL, J.; **Types of Constructed wetlands for wastewater treatment**. Proceedings: 6<sup>th</sup> International Conference on wetland systems for water Pollution Control, CEA/UNESP e IWAQ, Águas de São Pedro/SP, 27 set. A 02 de out. 1998. V. 1, pp. 150-166.

VYMAZAL, J; “**Removal of nutrientes in various types of constructed wetlands**”. **Science of the total environment**, 2006. Disponível em: [HTTP://10.1016/j.scitotenv.2006.09.014](http://10.1016/j.scitotenv.2006.09.014).

WOOD A. **Constructed wetlands in water pollution control: fundamentals to their understanding**. Wat. Sci. Tech., v.32, n.3, pp. 21-29, 1995

ZANELLA, L. NOUR, E. A.A. CAMARGO, S.A.R. **Cyperus Papyrus em sistemas de wetlands como pós-tratamento de esgotos: resultados preliminares.** In: VIII Simpósio Italo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais eletrônicos do VIII SIBESA, Fortaleza-CE. 2006.

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: Wetlands-Construídos utilizando brita e bambu como suporte.** Tese de Doutorado, UNICAMP. 189p. Campinas-SP, 2008.