

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**MARCUS PAULO DE MORAES GOMES**

**INSTALAÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTAÇÃO PILOTO DE  
TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO VISANDO REÚSO AGRÍCOLA**

**ARARAS**

**2014**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**MARCUS PAULO DE MORAES GOMES**

**INSTALAÇÃO E MONITORAMENTO DE ESTAÇÃO PILOTO DE  
TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO VISANDO REÚSO AGRÍCOLA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente como requisito para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura e Ambiente**.

**Orientador:** Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza

**ARARAS**

**2014**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

G633im      Gomes, Marcus Paulo de Moraes.  
                Instalação e monitoramento de estação piloto de  
tratamento de esgoto sanitário visando reúso agrícola /  
Marcus Paulo de Moraes Gomes. -- São Carlos : UFSCar,  
2014.  
                59 f.

                Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São  
Carlos, 2014.

                1. Tratamento de esgoto. 2. Microalgas. 3. *Wetlands*. 4.  
Reutilização. 5. *Desmodemus subspicatus*. 6. *Zantedeschia  
aethiopica* L. I. Título.

CDD: 628.3 (20<sup>a</sup>)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
DE

**MARCUS PAULO DE MORAES GOMES**

APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA  
E AMBIENTE, DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, EM *24 de  
fevereiro de 2014.*

BANCA EXAMINADORA:



---

PROF. DR. CLAUDINEI FONSECA SOUZA

ORIENTADOR

UFSCar



---

PROF. DR. REINALDO GASPAR BASTOS

UFSCar



---

PROF. DR. MARCELUS ALEXANDER ACORINTER

VALENTIM

FATEC/TATUAPÉ

*“O fruto de um trabalho de amor atinge sua plenitude na colheita e esta chega sempre no seu tempo certo.” (anônimo).*

## AGRADECIMENTOS

A todos os colaboradores da Universidade Federal de São Carlos – Centro de Ciências Agrárias, mas em especial:

Ao meu orientador, Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza, pela confiança, ensinamentos e paciência despendidos.

Ao Prof. Dr. Reinaldo Gaspar Bastos e técnicos do Laboratório de Microbiologia Aplicada e Controle, também pela confiança e dedicação.

Aos colegas da turma de Mestrado em Agricultura e Ambiente do ano de 2012 da UFSCar/CCA, pela parceria e amizade que tanto me incentivaram.

Ao corpo docente, ao efetivo da Prefeitura do Campus e da Seção Agrícola, pelo respaldo teórico e operacional no desenvolvimento do projeto.

A CAPES, pela concessão da bolsa de Mestrado e suporte financeiro, sem a qual não seria possível o desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus pais, pelo amor e dedicação mesmo quando não fui merecedor e, claro, ao poderoso Deus que me presenteia com serenidade, coragem e um pouco de sabedoria para discernir e seguir em frente.

## RESUMO

A progressiva demanda por água tem feito do tratamento e reutilização de efluentes um tema de relevância mundial. Apesar dos avanços científicos e tecnológicos que tratam desta questão, ainda sim, há necessidade de estudos que orientem seu melhor emprego focando produzir resultados sanitários e ambientais eficazes e economicamente satisfatórios. Considerando tal situação, este trabalho visa instalar, monitorar e avaliar a eficiência de uma estação de tratamento de efluentes (ETE) que atua através de processos físicos e biológicos mensurando a redução do teor de matéria orgânica do efluente durante o processo de tratamento e a disposição de nutrientes de importância agrícola no resíduo final. A ETE foi dimensionada para tratar 2500 litros de esgoto por dia e consiste em 04 unidades discriminadas da seguinte forma: tanque séptico, tanque contendo inóculo de *Desmodesmus subspicatus*, filtro anaeróbio de fluxo ascendente e *wetlands* com cultivo de *Zantedeschia aethiopica L.* O tempo de detenção hidráulica (TDH) é de 22 horas e para as verificações foram alocados 5 pontos de coleta de amostras, sendo o primeiro de esgoto bruto. A ETE foi monitorada quanto ao oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica, turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio com incubação de 5 dias a 20° C (DBO<sub>5</sub><sup>20</sup>), nitrogênio total (NTK), fósforo total (PT), potássio (K), cálcio (Ca), sódio (Na) e análises microbiológicas para detecção e quantificação de coliformes totais e *E. coli*. A eficiência da ETE atingiu, aproximadamente, 90% na remoção de matéria orgânica proporcionando um efluente propício para a fertirrigação, mesmo para os elementos Na e Ca que tiveram seus teores aumentados devido ao maior acúmulo de matéria orgânica no filtro anaeróbio de fluxo ascendente e *wetlands*. A ETE apresenta remoção de nitrogênio e fósforo pela ação das microalgas e das macrófitas utilizadas no processo. Conclui-se que existe a necessidade de tratamento terciário para remoção de patógenos, com isto o efluente poderá ser utilizado na fertirrigação conforme NBR 13.969/1997, porém sem descartar monitoramentos periódicos da salinidade do solo.

**Palavras-chave:** Anaeróbio. Microalgas. *Wetlands*. Reutilização. *Desmodesmus subspicatus*. *Zantedeschia aethiopica L.*.

## ABSTRACT

The increasing demand for water has made the treatment and reuse of wastewater a topic of global importance. Analyzing scientific and technological advances that deal with this issue, yet, require studies to guide their best job focusing on producing sanitary and environmental effective and economically satisfactory results. Considering this situation, this work aims to install, monitor and evaluate the efficiency of wastewater treatment (ETE) that works through biological processes through measuring the reduction of the organic content of the effluent during the treatment and disposal of agricultural importance of nutrients in the final residue. The ETE has been designed 2500 liters of wastewater per day and is broken down into 4 compartments as follows: septic tank, tank of microalgae with inoculant *Desmodesmus subspicatus* of anaerobic filter of up flow, wetlands with cultivation of *Zantedeschia aethiopica L.* Hydraulic detention time is 22 hours and for the checks were allocated 5 points for the collection of samples being the first raw sewage. Monitoring the ETE was developed through the analysis of dissolved oxygen (DO), hydrogen potential (pH), electrical conductivity, turbidity, chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand with 5 days incubation at 20° C (BOD<sub>5</sub><sup>20</sup>), total nitrogen (NT), total phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), sodium (Na) and microbiological tests for detection and quantification of total coliforms and *E. coli*. ETE efficiency reaches approximately 90% of organic matter removal providing an effluent suitable for fertigation, same for Na and Ca elements that have had their levels increased due to the accumulation of organic matter in the anaerobic filter of up flow and wetlands that provide longer detention contain hydraulic gravel in its interior. The ETE acts on nitrogen and phosphorus removal by the action of micro algae and Macrophytes used in the process. It is concluded that, after tertiary treatment for removal of pathogens, this wastewater can be used in Fertigation as NBR 13969/1997, but without discarding periodic monitoring of soil salinity.

**Key-words:** Anaerobic. Microalgae. Wetlands. Reuse. *Desmodesmus subspicatus*. *Zantedeschia aethiopica L.*



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração esquemática da ETE instalada no Campus.....	26
Figura 2. Cavidades escavadas para inserção dos tanques.....	28
Figura 3. Tanques danificados após o soterramento .....	29
Figura 4. Tanques envoltos nas anilhas de concreto .....	29
Figura 5. Interior do tanque séptico, antes e depois a instalação do tubo para coleta do efluente líquido .....	30
Figura 6. Interior do filtro anaeróbio de fluxo ascendente. Na esquerda, a mangueira instalada e depois seu preenchimento com brita nº4 .....	31
Figura 7. Imagens da construção das conexões da estação .....	32
Figura 8. Tanque séptico danificado após a elevação do lençol freático .....	33
Figura 9. Leito cultivado posicionado.....	34
Figura 10. Imagem do sistema de sifão na saída dos tanques (esquerda) e tubulações em forma de quadrado para distribuição igualitária do efluente (direita).....	34
Figura 11. Plantio dos Copos-de-leites .....	35
Figura 12. Estação de tratamento conectada e pronta para a recepção do efluente.	35
Figura 13. Copos-de-leite em desenvolvimento na estação de tratamento .....	40
Figura 14. Mudanças de turbidez. EB: Esgoto Bruto; TS: Tanque Séptico; LM: Tanque de Microalgas; FA = Filtro Anaeróbio e W = <i>Wetlands</i> .....	41
Figura 15. Análises da eficiência geral da estação, média de entrada e saída.....	42
Figura 16. <i>Desmodesmus subspicatus</i> em câmara de Neubauer. Microscópio óptico (aumento de 100 x). .....	47
Figura 17. Tanque de microalgas antes e depois a inoculação .....	49
Figura 18. Remoção de fósforo pelo tanque de microalgas .....	50
Figura 19. Remoção de nitrogênio total pelo tanque microalgas .....	50
Figura 20. Concentração de NT e PT pelos diferentes tanques da estação .....	51
Figura 21. Concentração de NT, efluente bruto e último ponto de coleta .....	51
Figura 22. Concentração de PT, efluente bruto e último ponto de coleta.....	52

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Distribuição de água nos diversos mananciais .....	04
Tabela 2. Tipos de reúso de água .....	10
Tabela 3. Caracterização do efluente .....	38
Tabela 4. Crescimento de <i>Desmodesmus subspicatus</i> em laboratório .....	39
Tabela 5. Eficiência geral da ETE .....	43
Tabela 6. Eficiência individual nas diferentes unidades de tratamento do esgoto...	46
Tabela 7. Monitoramento do crescimento da <i>Desmodesmus subspicatus</i> .....	48

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	1
2 OBJETIVOS .....	3
2.1 Objetivo geral.....	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
3.1 Balanço hidrológico .....	4
3.2 Tratamento de águas residuárias .....	6
3.3 Reúso de água: aspectos gerais .....	9
3.4 Necessidade do uso de efluente de esgoto .....	11
3.5 Benefícios da utilização de águas de reúso na agricultura .....	13
3.6 Reúso de água no Brasil .....	14
3.7 Concentração de nutrientes e componentes .....	16
3.8 Salinização .....	17
3.8.1 Salinização primária ou pedogênica .....	18
3.8.2 Salinização secundária ou antrópica.....	18
3.8.3 Efeito dos sais sobre as plantas .....	19
3.8.4 Efeito dos sais sobre os solos .....	19
3.8.5 Reflexos da aplicação das águas de reúso no Solo .....	20
3.9 Legislação sobre o reúso agrícola .....	21
3.9.1 NBR 13.969/1997.....	23
3.10 Wetlands.....	24
4 MATERIAL E MÉTODOS .....	26
4.1 Implantação do projeto.....	26
4.2 Função das unidades.....	27
4.3 Instalação da ETE.....	27
4.4 Monitoramento da ETE .....	35
4.5 Volume das unidades da ETE.....	36
4.6 Procedimentos para amostragem do efluente, análises microbiológicas e químicas.....	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	37
5.1 Caracterização do efluente e propagação do inóculo de <i>Desmodesmus subspicatus</i> em laboratório .....	37
5.2 Desempenho geral da ETE .....	39
5.3 Eficiência individual de cada unidade da estação .....	44
5.4 Tanque de microalgas e remoção de NT e PT.....	47
5.5 Viabilidade da aplicação da água gerada na estação para reúso na agricultura ....	52

6 CONCLUSÕES .....	53
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

## 1 INTRODUÇÃO

O desordenamento na gestão e utilização dos recursos hídricos, sejam eles superficiais ou subterrâneos, tornou-se, nos dias atuais, se não o mais preocupante tema de discussões sociais requerendo da comunidade científica e dos órgãos gestores e fiscalizadores, além de soluções, direcionamento técnico e científico para amenização da escassez e todo desequilíbrio que ela acarreta.

Mesmo possuindo grandes mananciais hídricos utilizáveis, nosso país com sua ampla extensão territorial e “generosidade” no que concerne à disposição dos recursos naturais, pode sofrer com a diminuição da oferta de água, principalmente nas regiões com vastas áreas irrigadas e nos grandes centros urbanos como já discorrido por Trentin, (2005). Também, na atualidade, o mesmo quadro de risco deve ser citado nas regiões onde as práticas sustentáveis de captação, utilização, reutilização e descarte são ignorados pela população e poder público.

Uma noção desta problemática, discutida por Melo (2011), mostra que a região Nordeste do Brasil que corresponde, aproximadamente, a 30% da população nacional, possui cobertura de redes de esgotamento sanitário na ordem de 60% nas áreas urbanas. Não eximindo o fato que, nem sempre tais redes de esgotamento sanitário destinam-se para um sistema ou estação de tratamento de efluentes.

Ainda sobre a questão da escassez, nas localidades que apresentam expressivo adensamento urbano, como a região metropolitana de São Paulo, a oferta de água torna-se cada vez menor e, em alguns casos, sua distribuição entre a população ostenta disparidades beneficiando áreas industriais, comerciais e bairros nobres, fato este que contraria a Constituição de 1988 cujo papel foi, também, de estabelecer a água como bem da União ressaltando que seu aproveitamento deve buscar a mitigação nas desigualdades.

Indubitavelmente, o desregramento da utilização dos recursos hídricos culmina no comprometimento da qualidade da água utilizável, sobretudo, aliado à descontrolada ocupação industrial urbana, à ausência de infraestrutura nas regiões periféricas e também nas zonas rurais onde, em sua maioria, os sistemas de tratamento de água e esgotos são de responsabilidade do próprio usuário que, contraditoriamente, lança seus resíduos para a depuração nos cursos d’água que serão captados para o consumo a jusante, sendo esta última a maior área consumidora de água.

Pela Constituição Nacional Brasileira, a ordem de prioridade do uso da água é

estipulada da seguinte forma: consumo humano, industrial e por fim, agricultura; de forma que as águas utilizadas em irrigação serão cada vez mais escassas e de qualidade comprometida.

Para Hespanhol (2003), a substituição de fontes de água é a alternativa plausível para satisfazer as demandas menos restritivas e liberar águas de melhor qualidade para o abastecimento populacional. Esta realidade demanda uma busca de adaptação das atuais técnicas de irrigação às condições futuras de escassez de água. A reutilização é uma das alternativas apontadas para o enfrentamento deste problema consagrando-se importante instrumento de gestão ambiental conforme Mancuso e Santos, (2003).

Enfatizando os malefícios do despejo dos efluentes, correlacionado ao seu grande potencial em matéria orgânica e outros elementos que nele contém, a utilização destes resíduos pode e deve ser alvo de estudos e práticas que fomentem o reaproveitamento como expressiva possibilidade de economia de recursos.

Considerando este cenário de escassez e desigualdades na oferta dos recursos hídricos, da utilização insustentável e suas consequências danosas; este projeto apresenta uma sugestão de tratamento de esgoto sanitário que se mostra como uma solução alternativa de fácil implantação e manuseio apresentando, além de tudo, custo moderado, alta eficiência e contribuindo para redução dos desperdícios e da utilização de insumos no setor agrícola.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Instalar, monitorar e avaliar a eficiência da estação piloto de tratamento de esgoto mensurando a redução do teor de matéria orgânica do efluente durante o processo de tratamento e a disposição de nutrientes de importância agrícola no resíduo final, visando o reaproveitamento na agricultura.

### **2.2 Objetivos específicos**

- 1.** Avaliar a eficiência da ETE na remoção de matéria orgânica, coliformes totais e *E. coli*;
- 2.** Avaliar a remoção dos elementos nitrogênio total e fósforo total no tanque de microalgas;
- 3.** Determinar elementos de importância agrícola tais como: nitrogênio, fósforo, potássio, sódio e cálcio, assim como a carga de matéria orgânica no efluente final e verificar se enquadram nas determinações da NBR 13.969/1977 para reutilização na agricultura.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Balanço hidrológico

Considerando que os recursos hídricos acessíveis ao consumo humano direto constituem uma fração mínima do capital hidrológico total existente no planeta, ainda sim, observa-se a cada dia que a água em escala mundial é um recurso cada vez mais escasso devido ao crescimento populacional, as atividades econômicas, o aumento da demanda e redução de sua oferta (BERNARDI, 2003).

Na tabela abaixo (Tabela 1), podemos observar a distribuição dos recursos hídricos no ambiente natural pelos estudos de Wetzel (1983).

**Tabela 1.** Distribuição de água nos diversos mananciais

<b>Local</b>	<b>Volume (km<sup>3</sup>)</b>	<b>Percentual do total (%)</b>
Oceanos	1.370.000	97,61
Calotas polares e geleiras	29.000	2,08
Água subterrânea	4.000	0,29
Água doce de lagos	125	0,009
Água salgada de lagos	104	0,008
Água misturada no solo	67	0,005
Rios	1,2	0,00009
Vapor d'água na atmosfera	14	0,0009

**Fonte: R.G. WETZEL, 1983**

Para uma estimativa mais recente das proporções podemos considerar o planeta terra coberto por dois terços de água, entretanto, 97,5% (aproximadamente) da água existente corresponde à água salgada, restando apenas 2,5% de água doce. Somando o fato que 1,75% desta água encontra-se em calotas e geleiras polares, temos 0,75% do montante que pode ser considerada aproveitável, o que não é verdade, já que parte deste pequeno saldo é inutilizável pelas ocorrências de poluição (FRISSO et al., 2010).

São estas incursões científicas que trazem a humanidade uma preocupação relacionada à gestão do uso da água, que apesar de apresentar-se volumosa tem baixo índice de potabilidade e seu potencial de consumo não alcança os 2,5% de toda a quantidade em ciclo no planeta.

Segundo Benetti (2006), mundialmente, o setor que mais requer consumo de



água é a agricultura (cerca de 63%), seguido do setor industrial (25%), cidades (8%) sendo que 4% retornam ao ciclo hidrológico através da evaporação e infiltração nos solos.

No Brasil, o setor agrícola consome, aproximadamente, 65% da água disponível. Ainda, segundo o mesmo autor, países como Alemanha, Estados Unidos, Israel e África do Sul possuem sistemas de reúso de água na agricultura já bem estabelecidos, sendo que na África do Sul, algumas cidades utilizam 100% do esgoto tratado para aplicações agrícolas. Atitude esta que confronta as deficiências na prioridade e distribuição da água.

Um trabalho desenvolvido por Oron et al. (1999), em Israel, afirma que o reúso de água na agricultura para pequenas comunidades rurais depende de diversos fatores como: o tamanho da comunidade, aspectos socioeconômicos, características do efluente e também a disponibilidade de terra para sua aplicação.

Normalmente, as comunidades se dividem em dois tipos: primeiro aqueles que possuem problemas com o tratamento das águas residuárias e falta de terra e o segundo tipo, das comunidades que não apresentam problema com falta de terra, mas apresentam déficit de água para a irrigação e ampliação da produtividade. Nesse caso, o efluente extra pode ser obtido da primeira comunidade e transferido para a segunda. Trabalhos desse gênero demonstram a preocupação de tais países com o manejo adequado de seus recursos hídricos. No caso do Brasil não existem registros oficiais de projetos de reúso na agricultura, apesar desta atividade ocorrer de forma incontrolada especialmente por pequenos produtores (BENETTI, 2006).

A coleta e tratamento de esgotos, no Brasil, não abrangem as zonas rurais, deixando por conta do proprietário rural a destinação dos dejetos, que quase sempre se dá por meio de fossas negras ou lançamento direto em corpo hídrico.

No mercado há inúmeras técnicas de tratamento de água e dejetos que podem ser empregadas com sucesso, contudo, o custo da aquisição de equipamentos, insumos e a elevada manutenção dos sistemas inviabilizam sua implantação no meio rural (BERTONCINI, 2008).

Mesmo dotando algumas tecnologias de tratamento, estas precisam ser além de eficazes, eficientes no tocante a remoção de patógenos e não apenas da matéria orgânica. Segundo Shuval et al. (1997) e Boreira et al. (2002) águas residuárias possuem restrição para aplicação direta na agricultura devido a existência de patógenos que causam riscos à saúde humana ou animal, especialmente em casos de cultivos de

alimentos que são consumidos crus, como hortaliças. A água tratada para reúso na agricultura não deve conter indicadores de contaminação fecal. Isso é baseado na premissa que é impraticável o monitoramento de todos os possíveis patógenos em águas, sendo que o parâmetro da presença de coliformes fecais (termotolerantes) é usado e aceito como indicador de possíveis patógenos na água. (BLUMENTHAL et al., 2000).

Projetos de reúso de água na agricultura ocorrem no Brasil praticamente apenas em nível de pesquisa. Por exemplo, Rego et al. (2005) relatou o sucesso na irrigação de melancia com água de reúso, tratando-se de uma técnica viável e econômica, mas enfatiza a necessidade de um monitoramento adequado e planejamento do sistema.

Algumas instituições, como a EMBRAPA ALGODÃO desenvolveram projetos de reúso de águas, no caso da instituição citada, no interior da Paraíba visando atender pequenos produtores para a produção de algodão e algodão colorido (AGÊNCIA FAPESP - ALGODÃO COLORIDO, 2004). De forma geral, o reúso de água na agricultura deve ser mais incentivado no Brasil.

Do Monte & Souza (1992) relatam que, ao optar pela aplicação de água de reúso, pode-se atingir economias de US\$ 230/ha até US\$ 520/ha. Todavia, o efluente bruto deve passar por um tratamento antes de sua aplicação no meio rural.

Para a aplicação das águas residuárias, além dos tratamentos biológicos convencionais como: lagoas de estabilização, leitos cultivados e reatores anaeróbios (SANDRI et al., 2006; TSUTIYA, 2001; HUSSAR et al., 2005), existem também sugestões de sistemas como o uso de biorreatores de membranas (CICEK , 2003) ou também o uso de microalga (QUEIROZ et al., 2007)

Nesse contexto, Bastos et al. (2009) e Queiroz et al. (2007) relatam o eficiente desempenho de tais organismos na remoção de nutrientes de águas residuárias, como a proveniente da parbolização do arroz. O cultivo de tais organismos apresentou redução de matéria orgânica (DQO), nitrogênio e fósforo, o que potencializa seu uso para a adequação de águas residuárias na utilização na agricultura, sem a necessidade de um grande espaço físico.

### **3.2 Tratamento de águas residuárias**

O sentido da palavra águas residuárias enquadra diversas modalidades de esgotos como aqueles provenientes das atividades domésticas, comercial, industrial,

agrícolas, pluviais, entre outras (LA ROVERE, 2002).

Os esgotos domésticos são constituídos aproximadamente de 99,9% de água, 0,1% de material sólido. Esta fração sólida é a grande responsável pelos problemas de contaminação e poluição, pois cerca de 30% deste material são minerais (inorgânicos) e a outra fração, 70%, de natureza orgânica é constituída de proteínas, carboidratos e gorduras (JORDÃO & PESSOA, 1995).

A composição dos esgotos está correlacionada com o tipo de uso da água de abastecimento podendo variar com o clima, hábitos e as condições socioeconômicas da população, também variando conforme a presença de efluentes industriais, infiltração de águas pluviais, idade das águas residuárias, entre outros (HENRIQUE, 2006).

Apesar da desuniformidade em sua composição, os esgotos apresentam uma fração sólida, basicamente matéria orgânica e diversidade de micro-organismos (bactérias, fungos, protozoários e helmintos) (BRAGA et al., 2002). Segundo Foresti et al. (1999), os esgotos domésticos são caracterizados pela composição do material orgânico biodegradável que favorecem os sistemas de tratamento baseados na ação biológica dos micro-organismos.

O tratamento biológico de esgotos baseia-se na ação simultânea ou conjunta de diferentes espécies de micro-organismos em bioreatores, que operados sob condições apropriadas de temperatura e mistura, resulta na estabilização da matéria orgânica. Os sistemas biológicos de tratamento de resíduos devem atender aos seguintes aspectos:

- Remoção da matéria orgânica (redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio do resíduo);
- Decomposição de compostos químicos orgânicos de difícil degradação (recalcitrantes);
- Fornecimento de um efluente em condições que não afetem o equilíbrio do sistema receptor (rios, lagos, solos, etc.) (VAZOLLER, 1995; GLAZER & NIKAIDO, 1995).

O volume de informações existentes sobre os aspectos básicos dos processos de tratamento biológico de dejetos, nos campos da engenharia e microbiologia, possibilita a adoção de diferentes tipos de reatores, com elevado desempenho e eficiência na redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (GLAZER & NIKAIDO, 1995).

A utilização de sistemas de tratamento baseado em processos biológicos resulta na transformação de substâncias complexas em compostos mais simples, por meio da ação de micro-organismos, que oxidam e decompõem a matéria orgânica. O processo

aeróbio ocorre por meio de bactérias que respiram ou consomem oxigênio (as bactérias aeróbias precisam de  $O_2$  (oxigênio gasoso livre) na proporção de 20%); enquanto que no anaeróbio a decomposição da matéria orgânica ocorre na ausência de oxigênio livre utilizando outro tipo de receptor de elétrons, que pode ser a própria matéria orgânica, sendo então denominada fermentação ou pode ser anóxico, quando o aceptor de elétrons é o  $NO_3^-$  sendo este o metabolismo das bactérias desnitrificantes, ou pode ser  $SO_4^{2-}$  (bactérias redutoras de sulfato), ou o  $CO_2$  (bactérias metanogênicas), entre outros (BRANCO, 1986; VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994). No entanto, em ambas vias o mecanismo principal de transformação da matéria orgânica é o metabolismo bacteriano.

O metabolismo engloba processos denominados de catabolismo e anabolismo. No catabolismo (oxidativo e fermentativo) são utilizadas, pelas bactérias, substâncias orgânicas como fonte de energia (decomposição).

No anabolismo ocorre a biossíntese, sendo o material orgânico incorporado à própria célula (sínteses do material celular). No catabolismo oxidativo (respiração) a oxidação da matéria orgânica ocorre através de um agente oxidante, podendo ser este o oxigênio molecular (respiração aeróbia) ou quando o receptor de elétrons for nitrato ou sulfato (respiração anaeróbia).

No processo fermentativo os micro-organismos metabolizam o material orgânico na ausência de um oxidante externo.

Neste processo ocorre um rearranjo de elétrons na molécula que está sendo metabolizada, de modo que se formam outras moléculas mais simples com liberação de energia (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

Nos processos anaeróbios ou nos sistemas de biodigestão anaeróbia, a degradação da matéria orgânica envolve a atuação de micro-organismos procarióticos anaeróbios facultativos, que pertencem ao grupo de bactérias hidrolíticas-fermentativas, acetogênicas produtoras de hidrogênio e metanogênicas.

A bioconversão da matéria orgânica poluente com produção de metano requer a cooperação entre grupos de bactérias.

Na atividade microbiana anaeróbia em biodigestores, como também em habitats naturais com formação de metano ocorre à oxidação de compostos complexos, resultando nos precursores do metano, acetato e hidrogênio (GUJER & ZEHNDER, 1983).

### 3.3 Reúso de água: aspectos gerais

A reutilização ou reúso de água ou ainda em outra forma de expressão, o uso de águas residuárias, não é um conceito novo e tem sido praticado em todo o mundo há muitos anos. Há relatos de sua prática na Grécia Antiga, com a disposição de esgotos e sua utilização na irrigação. Contudo, a demanda crescente por água tem feito do reúso planejado um tema atual e de grande importância.

Neste sentido, deve-se considerar o reúso de água como parte de uma atividade mais abrangente que é o uso racional ou eficiente, o qual compreende também o controle de perdas, desperdícios, a minimização da produção de resíduos e do consumo da água.

Os esgotos tratados têm um papel fundamental no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos como um substituto para o uso das águas destinadas a fins agrícolas e de irrigação. Ao liberar as fontes de água de boa qualidade para abastecimento público e outros usos prioritários, o uso de esgotos tratados contribui para a conservação dos recursos hídricos e acrescenta uma dimensão econômica ao planejamento dos recursos naturais.

O reúso da água reduz a demanda sobre os mananciais hídricos devido à substituição da água potável por uma água de qualidade inferior. Esta prática, atualmente muito discutida e posta em evidência já é utilizada em alguns países e está pautada no conceito de substituição de mananciais. Tal substituição é possível em função da qualidade requerida para um uso específico. Desta forma, grandes volumes de água potável podem ser poupados pelo reúso quando se utiliza água de qualidade inferior (geralmente efluentes pós-tratados) para atendimento das finalidades que podem prescindir de água dentro dos padrões de potabilidade.

A tabela abaixo (Tabela 2) mostra os diversos tipos de reúso de água que têm sido empregados em países industrializados, excetuando-se o reúso potável direto, onde a água residuária tratada é disponibilizada em um sistema público de abastecimento de água.

No Brasil, a prática do uso de esgotos tratados, principalmente para a irrigação de hortaliças e de algumas culturas forrageiras já é, de certa forma, difundida, porém, constitui-se em um procedimento não ainda.

**Tabela 2.** Tipos de Reúso de Água

<b>Tipos de reúso</b>	<b>Aplicações</b>
Irrigação paisagística	Parques, cemitérios, campos de golfe, faixas de domínio de autoestradas, campi universitários, cinturões verdes, gramados residenciais.
Irrigação de campos para cultivos	Plantio de forrageiras, plantas fibrosas e de grãos, plantas alimentícias, viveiros de plantas ornamentais, proteção contra geadas.
Usos industriais	Refrigeração, alimentação de caldeiras, lavagem de gases, água de processamento.
Usos urbanos não potáveis	Irrigação paisagística, combate ao fogo, descarga de vasos sanitários, sistemas de ar condicionado, lavagem de veículos, lavagem de ruas e pontos de ônibus, etc.
Represamentos	Represas ornamentais, fins recreacionais e desportivos.
Finalidades Ambientais	Aumento de vazão em cursos de água, aplicação em pântanos, alagados, indústrias de pesca.
Usos diversos	Aquicultura, fabricação de neve, construções, controle de poeira, dessedentação de animais.

**Fonte: CROOK, 1993**

Muitas das vezes, a reutilização é totalmente inconsciente por parte do usuário, que utiliza águas altamente poluídas de córregos e rios adjacentes para irrigação de hortaliças ou vegetais, ignorando que esteja exercendo uma prática danosa à saúde pública dos consumidores contribuindo com impactos ambientais negativos.

Em termos de reúso industrial, a prática começa a se implantar, mas ainda associada a iniciativas isoladas, a maioria das quais, dentro do setor privado. A lei N.º 9433 de 8 de janeiro de 1997, em seu Capítulo II, Artigo 2º, Inciso I, estabelece, entre os

objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, a necessidade de “Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”.

Considerando a existência de atividades de reúso agrícola em certas regiões do Brasil, as quais são exercidas de maneira informal, sem as salvaguardas ambientais e de saúde pública adequada, torna-se necessário institucionalizar, regulamentar e promover o setor através da criação de estruturas de gestão, preparação de legislação, disseminação de informação e do desenvolvimento de tecnologias compatíveis com as nossas condições técnicas, culturais e socioeconômicas.

No Brasil a ANA (Agência Nacional de Águas) criou uma equipe de estudos para desenvolver um programa nacional de reúso da água como uma das soluções para diminuir a coleta dos mananciais e prolongar a reserva hídrica dos rios. O estudo da ANA, cujo projeto foi aprovado pelo Congresso em junho de 2000, reflete uma mentalidade avançada do país quanto à busca do uso sustentável dos recursos hídricos. Mas este órgão, que entre outras atribuições é também responsável pela promoção do reúso no Brasil, ainda não despertou energeticamente para o tema.

Na prática a ANA não tem promovido muitos benefícios em relação ao reúso (HESPANHOL, 2003). Além da necessidade de desenvolver uma cultura e uma política de conservação de água em todos os setores da sociedade, o reúso consciente e planejado de águas de baixa qualidade, dentre elas as águas de drenagem agrícola, águas salobras, águas de chuvas e principalmente esgotos domésticos e industriais, constitui o mais moderno e eficaz instrumento de gestão, para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos no Brasil (HESPANHOL, 2003).

### **3.4 Necessidade do uso de efluente de esgoto**

A preocupação com a saúde pública e com o ambiente cresceu acentuadamente nos últimos anos, requerendo aprimoramento dos sistemas de tratamento de esgotos sanitários, permitindo a reutilização das águas para a irrigação, após o devido tratamento, como uma forma econômica e produtiva no destino final dos mesmos. Desta forma, o uso de esgoto sanitário e efluente tratados na irrigação, deve ser prática adotada permanentemente em muitas regiões do Brasil e do mundo. Cuidados especiais devem ser observados, tais como fatores e medidas adequados ao tratamento, quais culturas e os métodos de irrigação empregados.

Os estudos quanto ao uso de esgoto aplicado ao solo, no sentido de reaproveitar a matéria orgânica e os nutrientes nela contidos, vem crescendo rapidamente no Brasil nos últimos anos, no entanto, o uso de água residuária tratada ainda é reduzido, necessitando definir com clareza os efeitos sobre o solo, água, planta e sistemas de irrigação, analisando aspectos positivos e negativos da reutilização sobre a saúde humana, animal e meio ambiente, em função do tratamento e das formas de aplicação.

O tratamento de esgotos domésticos, visando o seu aproveitamento na agricultura, é uma alternativa considerável. O reúso consiste no aproveitamento de água previamente utilizada, uma ou mais vezes em alguma atividade humana, podendo ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações planejadas ou não (BREGA FILHO e MANCUSO, 2003). Segundo Oliveira et al. (2002), a agricultura utiliza grande quantidade de água e a atividade pode tolerar águas de qualidade inferior àquela necessária na indústria e no uso doméstico. Dessa forma, é inevitável que haja tendência crescente para se encontrar na agricultura a solução dos problemas relacionados com efluentes.

A utilização do efluente tratado na agricultura pode baratear os custos gerados na captação e utilização da água e proporcionar aumento da produtividade já que a água tratada proveniente do esgoto doméstico carrega consigo matéria orgânica e nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas. Além de considerar que o sistema solo-micro-organismos-plantas tende a estabilizar o esgoto sanitário protegendo os corpos d'água. Conforme a REVISTA DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM (2001), na agroindústria já há o despertar para as potencialidades da água de reúso. Na Bacia de Campos, os grandes produtores da agroindústria açucareira já usam bem a tecnologia da reciclagem. Além da vinhaça, a água resultante do trabalho industrial na avicultura, suinocultura e bovinocultura tornam-se fonte que poderia atender à elevada demanda de irrigação, pois é rica em nutrientes e contribui inclusive na economia de fertilizantes e adubo. O uso de águas residuárias para irrigação é de grande importância também em termos de planejamento para proteção ambiental.

Segundo Guidolin (2000), outras experiências nacionais têm destaque na prática do reúso, como a aplicação sistemática de efluentes, que recebem tratamento primário, na região do Seridó, no Rio Grande do Norte, para irrigação de capineiras nas vizinhanças da área urbana, com maior destaque às sedes municipais de Santa Cruz, Campo Redondo, Caicó, Currais Novos, Goianinha, Eduardo Gomes e Parelhas.

Dentre outras iniciativas, a FIESP/CIESP lançou, em março de 2002, a “Agenda



da Conformidade Ambiental da Indústria Paulista”, que tem dentre seus projetos o “Reúso de Água”, que objetiva disponibilizar, ao setor, alternativas e tecnologias para a redução e racionalização do uso da água nos processos produtivos.

### **3.5 Benefícios da utilização de águas de reúso na agricultura**

São vários os benefícios da água de reúso proveniente de tratamento de esgotos na agricultura, podendo-se mencionar a possibilidade de substituição parcial de fertilizantes químicos. Com a diminuição do impacto ambiental, em função da redução da contaminação dos cursos d’água; um significativo aumento na produção poderá ser ocasionado, tanto qualitativo quanto quantitativo; além da economia da quantidade de água direcionada para a irrigação, que pode ser utilizada para fins mais nobres, como o abastecimento público.

O uso de águas residuárias tratadas para a irrigação na agricultura é uma prática atrativa, pois: (i) problemas com a falta de água podem ser resolvidos; (ii) grandes quantidades podem ser dispostas durante todo o ano com ou sem armazenamento no solo (em algumas circunstâncias o armazenamento pode ser considerado uma fase extra de tratamento) e com riscos ambientais mínimos, (iii) há benefícios econômicos devido à presença de nutrientes no efluente.

A aplicação dos nutrientes contidos nos efluentes tratados pode reduzir, ou mesmo eliminar a necessidade de fertilizantes comerciais. Além disso, a matéria orgânica contida nos esgotos aumenta a capacidade do solo em reter água. Segundo Brega Filho & Mancuso (2003), a prática de reúso de água no meio agrícola, além de garantir a recarga do lençol freático, serve para fertirrigação de diversas culturas, bem como para fins de dessedentação de animais. A utilização de água proveniente de reúso é diferenciada para irrigação de plantas não comestíveis (silvicultura, pastagens, fibras e sementes) e comestíveis (nas formas cruas e cozidas), necessitando essas de um nível maior de qualidade.

Segundo Guidolin (2000), é imprescindível destacar o conteúdo dos elementos minerais presentes em efluentes urbanos brutos, destacando a presença de nutrientes, como N, P e K, bem como elementos que podem ser considerados maléficos ao desenvolvimento vegetal.

No que se referem aos patógenos, vetores de doenças ao ser humano, é preciso destacar que o solo atua como redutor do período de sobrevivência dos mesmos. Assim,

a reutilização de águas residuárias, de uma maneira geral, e das domésticas, de forma particular, promove as seguintes vantagens:

- Propicia o uso sustentável dos recursos hídricos;
- Minimiza a poluição hídrica nos mananciais;
- Estimula o uso racional de águas de boa qualidade;
- Permite evitar a tendência de erosão do solo e controlar processos de desertificação, por meio da irrigação e fertilização de cinturões verdes;
- Possibilita a economia de dispêndios com fertilizantes e matéria orgânica; provoca aumento da produtividade agrícola;
- Gera aumento da produção de alimentos;
- Permite maximizar a infraestrutura de abastecimento de água e tratamento de esgotos pela utilização múltipla da água aduzida.

Segundo Beekman (1996), como a demanda pela água continua a aumentar, o retorno das águas residuárias através de sua utilização vem se tornando um componente importante no planejamento, desenvolvimento e utilização dos recursos hídricos, tanto em regiões áridas, como em regiões úmidas.

A utilização das águas servidas para propósitos de uso não potável, como na agricultura, representa um potencial a ser explorado em substituição à utilização de água tratada e potável.

Por meio do planejamento integrado dos recursos de águas naturais e águas servidas, a reutilização pode propiciar suficiente flexibilidade para o atendimento das demandas de curto prazo, assim como, assegurar o aumento da garantia no suprimento de longo prazo. Assim, o reúso de água para diversos fins, incluindo o da irrigação, surge então como alternativa para aumentar a oferta de água, garantindo economia do recurso e racionalização do uso desse bem.

Diversos países já utilizam essa tecnologia e possuem regulamentação específica na temática. Porém o Brasil ainda está em fase embrionária na efetivação e regulamentação da técnica, com grande potencial de crescimento.

### **3.6 Reúso de água no Brasil**

Embora os brasileiros tenham por lei a necessidade de garantir a justa disponibilidade da água em padrões de qualidade aos respectivos usos para à atual e futura geração, sua Política Nacional de Recursos Hídricos ainda não rumou no sentido

de estimular o reúso de água de forma abrangente e irrestrita visando garantir este direito por meio do desenvolvimento de uma cultura e uma política de conservação do recurso que alcance todos os setores da sociedade.

Segundo Hespanhol (2003) o planejamento de reúso de águas provenientes da drenagem agrícola, da cadeia pluvial, dos mananciais salobros, dos esgotos domésticos e industriais é necessário para criar um plano de gestão que vise equilibrar a sustentabilidade da oferta dos recursos hídricos no Brasil, criando uma cultura mais consciente para o reúso de águas com menor qualidade, e o autor garante que não está sendo feito por nenhuma esfera de governo, nem pela autarquia responsável pela gestão do planejamento hídrico, Agência Nacional de Águas (ANA).

Desta maneira, as técnicas de reúso são adotadas em várias regiões do país, mas não tem seus procedimentos institucionalizados e são aplicadas sem qualquer planejamento ou forma de controle o que pode comprometer a saúde dos consumidores dos alimentos, danificar o solo e causar impactos ambientais irreversíveis, quando não constatado o grau de poluição da água ou a presença de componentes em quantidades tóxicas.

Contudo mostra-se necessária uma legislação que regule o uso e a aplicação de águas residuárias que garantam uma maior sustentabilidade dos recursos hídricos assegurando um padrão de qualidade para os procedimentos de reúso dos diversos tipos de efluentes e disseminar a informação de modo que alcance as mais remotas regiões e de forma adaptadas às culturas locais assegurando condições de coleta, tratamento e aplicação adequadas para cada tipo de solo, clima e infraestrutura.

O reúso de água devidamente tratada na a irrigação se mostra uma forma econômica e produtiva para a destinação de esgotos e efluentes e que propicia diversos benefícios para a saúde pública, principalmente em regiões menos desenvolvidas onde o descarte é precário e muitas vezes ameaçador aos ecossistemas locais. Porém, o descarte por reaproveitamento deve ser atrelado a cuidados especiais no tratamento que evitem os mesmos ou maiores problemas do despejo “in natura”, bem como se utilizar de técnicas adequadas nos métodos de irrigação aplicados.

Quando bem utilizado, o efluente pós-tratado pode enriquecer a cultura através de um melhor equilíbrio do solo e do aproveitamento dos nutrientes e das matérias orgânicas contidos na água de reúso. A obtenção de bons resultados acontece quando se observa os efeitos sobre as plantas, o solo e o sistema de irrigação, em análises bioquímicas que ajudam a determinar as formas mais adequadas de tratamento e

aplicação.

Segundo Oliveira et al. (2002) a agricultura tolera o uso de águas de qualidade inferior do que aquela utilizada para o consumo humano. O grande volume necessário para atividade agrícola é outra variante que corrobora para o uso mais intenso de águas residuárias na irrigação, fazendo com que esta prática se torne mais importante a cada dia.

Este processo promove ainda uma significativa redução dos custos de irrigação, ao mesmo tempo em que aumenta a qualidade e a quantidade da produtividade devida sua riqueza nutricional, barateando também os gastos com adubação e outros insumos promovendo a substituição parcial de fertilizantes químicos e contribuindo com a redução significativa de risco de contaminação de cursos d'água subterrâneos e superficiais. Soluciona ainda, problemas decorrentes da falta de água, formas de racionamento e maior retenção hídrica no solo, devido à presença de matéria orgânica.

### **3.7 Concentração de nutrientes e componentes**

Não é porque a água de reúso para a aplicação na irrigação agrícola tem qualidade inferior a do consumo humano que sua qualificação não é criteriosa. A água interfere na qualidade das plantas e conseqüentemente nos alimentos produzidos, especialmente daqueles para o consumo sem cozimento. Preservar a integridade dos níveis de produção na cultura, protegendo o solo agricultável e preservando a saúde do consumidor requerem critérios rigorosos no que tange ao teor de sais contidos na água, a presença de substâncias tóxicas, os índices de sódio e de nutrientes.

Segundo Bower e Chaney (1974) existe uma grande diferenciação entre o uso de água residuária de outras fontes de abastecimento que reiteram a necessidade de controle dos teores químicos e físicos dos efluentes pós-tratados como forma de proteção ao conjunto de fatores agrícolas, uma vez que apresentam grande variedade de compostos orgânicos biodegradáveis ou não. Tipos diferentes de efluentes possuem distintos teores de macronutrientes como o Nitrogênio e Potássio dependendo de sua origem e forma de tratamento. Feigin et al. (1991), também alerta para a presença de bactérias, vírus e outros micro-organismo patogênicos que podem ter suas concentrações sensivelmente reduzidas se os efluentes receberem os tratamentos adequados.

Mais variável que as características física e química de cada tipo de efluente,

somente a conceituação dos critérios de produtividade das culturas agrícolas irrigadas com a água de reúso. Os índices de compostos determinados por critérios de demanda bioquímica de Oxigênio (DBO) são subjetivamente discutidos e atingem, atualmente, posições muito distintas dentro do espectro de concentrações aceitáveis para não comprometer a produção vegetal, quer seja quantitativa ou qualitativamente.

Autores mais conservadores optam que a água de reúso deva contar com um índice de DBO inferior a 30mg/L para não comprometer a saúde da planta e sua produtividade. Para Hespanhol (2003) quantidades de partículas até a quantidade de 100mg/L não afetam a quantidade de água absorvida pelas raízes das plantas. Já Andrade Neto (2012) afirma que alguns órgãos estaduais brasileiros de controle ambiental aceitam índices de até 60 mg/L de DBO, como adequados para o uso de águas residuárias na agricultura.

A alta concentração de sais no solo aumenta a capacidade de infiltração da água na terra, que pode ser comprometida com o aumento da taxa de sodicidade e estes dois fatores devem ser analisados conjuntamente e suas concentrações na água, segundo Mancuso (2003) dependem do tipo de esgoto e da forma como este é tratado.

### **3.8 Salinização**

A toxicidade das águas de reúso para aplicação na irrigação agrícola se determina pela concentração dos componentes de muita relevância na medida em que produzem efeitos sobre as espécies vegetais.

A salinidade do solo é um dos fatores de maior preocupação na agricultura moderna e o manejo inadequado da irrigação é um dos principais responsáveis pelo aumento da quantidade de solos degradados (EPSTEIN & BLOOM, 2006).

No mundo, estima-se que 19,5% das terras irrigadas (45 milhões de hectares) e 2,1% das não irrigadas (32 milhões de hectares) estejam afetadas pelos sais.

No Brasil, embora a informação sobre as áreas salinas não esteja bem definida, estima-se que 20 a 25% das áreas irrigadas enfrentem problemas de salinização (FAO, 2006). Dias (2004) afirma que a origem dos problemas de salinidade se confunde com a própria formação do solo, que é produto da intemperização das rochas, envolvendo processos físicos, químicos e biológicos, mediante a ação de fatores como clima, relevo, organismos vivos e o tempo.

### **3.8.1 Salinização primária ou pedogênica**

Durante a intemperização, os diversos constituintes da rocha são liberados na formação de compostos simples (RICHARDS, 1954) apud Dias (2004).

Os sais liberados durante o processo de intemperização das rochas, dependendo da geomorfologia da região, podem ser carreados para horizontes inferiores mediante percolação ou levados a lugares distantes por escoamento superficial, conforme as condições de relevo, fluxo de água, etc.

Em regiões de clima árido e semiárido, por apresentarem déficit hídrico na maior parte do ano e, na maioria das vezes, os solos serem rasos ou apresentarem camadas impermeáveis, a água que contém sais fica sujeita aos processos de evaporação ou evapotranspiração, podendo atingir, com o tempo níveis comprometedores para o crescimento e desenvolvimento das plantas (PIZARRO, 1978). Embora a fonte principal e direta de todos os sais presentes no solo seja a intemperização das rochas, são raros os exemplos em que esta fonte de sais tenha provocado diretamente problemas relacionados com a salinidade do solo. A salinização do solo por este fenômeno é denominada salinização primária.

### **3.8.2 Salinização secundária ou antrópica**

Os problemas de salinidade têm sido também associados, segundo Dias (2004), ao manejo inadequado da irrigação, à adição de fertilizantes em altas doses e pouco parcelada, à inexistência de chuvas promotoras de lixiviação do excesso de sais aplicados via água de irrigação, à drenagem deficiente e à presença de águas sub-superficiais ricas em sais solúveis a pouca profundidade. Nesses casos, ou seja, quando a salinização resultante é devida à ação antrópica, a mesma é conhecida como salinização secundária. Além disso, a salinização pode ser causada pela aplicação de fertilizantes, de forma excessiva e pouco parcelada ao longo do ciclo cultural, induzindo o sistema radicular ao estresse osmótico.

De acordo com Oliveira (1997), em alguns casos a salinização secundária é responsável por perdas irreparáveis na capacidade produtiva dos solos, tornando estéreis grandes extensões de terras cultivadas. Assim, águas de qualidade duvidosa (adubos com elevado índice salino, drenagem ineficiente, dentre outros fatores, podem acelerar o processo de salinização secundária.

### **3.8.3 Efeito dos sais sobre as plantas**

As culturas sensíveis à salinidade sofrem redução progressiva do crescimento e da produção à medida que a solução salina aumenta. De acordo com Lima (1997), os efeitos da acumulação excessiva dos sais solúveis sobre as plantas podem ser causados pelas dificuldades de absorção de água, toxicidade de íons específicos e pela interferência dos sais nos processos fisiológicos (efeitos indiretos), reduzindo o crescimento das plantas.

Os danos devido à toxicidade podem reduzir significativamente o rendimento das culturas, estando sua magnitude dependente do tempo, da concentração de íons, da tolerância das plantas e do uso da água pelas culturas (AYERS & WESTCOT, 1991).

Os problemas de toxicidade, frequentemente, acompanham ou potencializam os de salinidade ou de permeabilidade, podendo surgir mesmo quando a toxicidade for baixa (AYERS & WESTCOT, 1991).

Os sintomas de toxicidade podem aparecer em qualquer cultura, desde que as concentrações de sais no interior da planta sejam suficientemente altas ou acima de seus níveis de tolerância (AYERS & WESTCOT, 1991).

Os efeitos indiretos da salinidade usualmente ocorrem devido à concentração elevada de sódio ou outros cátions na solução, que interferem nas condições físicas do solo ou na disponibilidade de outros elementos, afetando o crescimento e o desenvolvimento das plantas indiretamente.

### **3.8.4 Efeito dos sais sobre os solos**

Em locais de clima semiárido é comum a ocorrência de solos com elevadas concentrações de sais, sendo que alguns deles apresentam-se salinizados, independentes da ação do homem, ou seja, são salinos por natureza. Os solos salinos, segundo Santos (1995), apresentam como características físico-hídricas baixa permeabilidade, baixa condutividade hidráulica e instabilidade dos agregados. A salinização dos solos de áreas irrigadas ocorre principalmente, segundo Gheyi et al. (1997), ao uso de água de irrigação com alta concentração salina, elevação do lençol freático por causa do manejo inadequado de irrigação, ausência ou deficiência de drenagem, elevação do lençol freático em decorrência da perda de água por infiltração nos canais e reservatórios e/ou acumulação de água de irrigação nas partes mais baixas do terreno.

Solos normais podem se tornar improdutivos se receberam sais solúveis em excesso devido a irrigações mal conduzidas com águas salinas. Mesmo com um bom controle da qualidade da água de irrigação (o que raramente é feito na prática) há um contínuo resíduo de sais no solo (SOUZA, 1995). No Nordeste brasileiro, característico de alta evapotranspiração e baixa precipitação, estima-se em mais de 9 milhões de hectares a área total ocupada pelos solos geneticamente salinos (planossolos, solonetz, solonchak e outros) (PEREIRA et al., 1985).

### **3.8.5 Reflexos da aplicação das águas de reúso no Solo**

Na categoria de reúso de águas para a agricultura irrigada de culturas, as limitações se referem ao efeito da qualidade da água, levando em conta seus efeitos sobre as plantas, e principalmente a salinização dos solos, e as substâncias tóxicas, o sódio, o cloro e a preocupação patogênica (bactérias, vírus e parasitas) na saúde pública.

Dotto (1994) elaborou índices de qualidade de água para irrigação, considerando os parâmetros indicadores como os biológicos físicos e químicos, aplicando uma análise multicriterial, com a intenção de priorizar aqueles elementos que poderiam representar um fator limitante no planejamento agrícola.

De acordo com (SANDRI, 2003) os resultados mostram que a utilização destes índices, provoca elevada degradação da qualidade da água devido às cargas totais urbanas, industriais e agroindustriais sobre a agricultura. Sandri (2003) concluiu pela insignificância dos impactos ambientais advindos da disposição final de esgotos não tratados, ou pela inexistência de problemas decorrentes da utilização agrícola, por ser representado em maior proporção por material orgânico. Entretanto, uma análise mais detalhada da composição dos esgotos sanitários revela, simultaneamente, os seus potenciais e limitações para utilização na agricultura.

Desta forma, a irrigação com esgotos sanitários é essencialmente fertirrigação, devendo, portanto, serem observados todos os cuidados inerentes a tal prática, o mesmo valendo para os teores de sódio, razão de absorção de sódio e cloretos. Longo tempo de uso de efluente na irrigação requer monitoramento do balanço de cátions no solo, como o Na e também do pH, que são geralmente altos, restringindo a solubilidade de muitos nutrientes, incluindo o zinco. Também é necessário verificar a contaminação do lençol freático por nutrientes ao longo do tempo, especialmente os facilmente lixiviáveis como o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).



O uso de água residuária de forma irrestrita às culturas é motivo de risco a saúde pública pela grande variedade de patógenos, incluindo bactérias, vírus, cistos de protozoários e ovos de helmintos. Quando utilizada a irrigação, esta pode ocasionar vários problemas para a planta, para o solo e o próprio sistema de irrigação. Assim, é importante conhecer os potenciais problemas e a qualidade da água que se está utilizando, buscando adequá-la às funções que se deseja na propriedade agrícola.

Estudos realizados na Califórnia, Israel e Portugal têm demonstrado que diversas culturas irrigadas com águas residuárias requerem pouca ou nenhuma complementação adicional de fertilizantes químicos ou orgânicos.

Deve-se também agregar a contribuição para o aumento da produção e produtividade agrícola, gerado com o uso de águas de reúso, por apresentarem nutrientes benéficos às plantas. Porém cuidados e medidas devem ser tomadas e definidas para evitar os riscos associados à prática do reúso na irrigação, como contaminação da água por bactérias, vírus, protozoários, micro poluentes orgânicos e inorgânicos e metais pesados.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), as doenças diarreicas são responsáveis por mais de 03 milhões de morte a cada ano. Assim, é preciso estabelecer bases científicas, políticas, institucionais e legais para o desenvolvimento de padrões e códigos de prática nacional de reúso na agricultura de maneira sustentada, ecologicamente compatível e isenta de riscos à saúde pública. Entre os reflexos negativos quanto à aplicação de água de reúso no solo, a poluição, principalmente por nitratos e nitrogênio, de aquíferos subterrâneos, pois o excesso destes podem levar a eutrofização do mesmo promovendo inclusive a mortandade dos peixes e também o acúmulo de sais no solo, podendo ocorrer à salinidade e a sodicidade, ou dependendo do presença de alguns íons específicos podem ser tóxicos há certas culturas e por fim colocar em risco a saúde dos trabalhadores e consumidores dos produtos irrigados, devido à contaminação por micro-organismos patogênicos.

### **3.9 Legislação sobre o reúso agrícola**

O Departamento de Saúde Pública do Estado da Califórnia (EUA), em 1918, emitiu a primeira regulamentação oficial sobre a utilização agrícola de águas residuárias que se tem conhecimento (CROOK, 1991).

No Brasil, a resolução CNRH nº 54 (CNRH, 2005) define água de reúso como

sendo a: “água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas”.

Em seu artigo 3º, quando aborda as diversas modalidades de reúso, a mesma determina, em seu inciso II: “reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas”.

No que concerne aos aspectos legais envolvidos no reúso de água na agricultura, constata-se que, diferentemente do lodo de esgoto gerado em ETE's e cujo uso agrícola é regulamentado, dentre outras normas, pela resolução CONAMA nº 375 (Conama, 2006), que determina em seu artigo 12 que: É proibida a utilização de qualquer classe de lodo de esgoto ou produto derivado em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo, no uso agrícola da água de reúso não se observou legislação que proibisse ou liberasse expressamente tal uso.

Nesse sentido, a Resolução nº. 54, de 28 de fevereiro de 2005, cuja regulamentação encontra-se em pleno curso no Brasil e que estabelece critérios gerais para reúso de água potável, não define de maneira expressa os procedimentos para o uso agrícola do efluente tratado.

Exemplificando, citaríamos: a inexistência de recomendações quanto ao transporte de efluentes tratados das ETE's para a área agrícola; a inexistência de concentrações permitidas de substâncias orgânicas nos solos agrícolas sujeitos ao recebimento de efluentes tratados; dentre outros.

A Organização Nacional da Saúde (OMS) têm se dedicado à recomendação de critérios para a utilização de águas residuárias. Em 1973, a OMS publicou suas primeiras diretrizes sanitárias, sobre o uso de águas residuárias, constantemente atualizadas (WHO, 1973; WHO, 1989; WHO, 2006).

A Resolução nº. 54/2005 (CNRH, 2005) aponta as diversas modalidades de reúso e, em seu artigo 10, determina a implementação de “programas de capacitação, mobilização social e informação quanto à sustentabilidade do reúso, em especial os aspectos sanitários e ambientais”.

Indo ao encontro de tal afirmação o Projeto de Lei Nº5296/2005, que institui as diretrizes para a Política Nacional de Saneamento Básico e os serviços públicos de saneamento básico, já se refere diretamente ao reúso da água. Como exemplo em seu artigo 10, Inciso III (BRASIL, 2005): “São diretrizes relativas ao esgotamento sanitário: incentivar o reúso da água, a reciclagem dos demais constituintes dos esgotos e a

eficiência energética, condicionado ao atendimento dos requisitos de saúde pública e de proteção ambiental pertinente”.

### **3.9.1 NBR 13.969/1997**

Na legislação brasileira atual existe a norma NBR 13.969/1997 da ABNT, “Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação”, onde em um dos seus itens fala sobre o planejamento do sistema de reúso fomentando o planejamento para o reúso local de esgoto de modo a permitir a sua aplicação segura e racional minimizando o custo de implantação e operação. Para tanto, devem ser definidos:

- Os usos previstos para esgoto tratado;
- Volume de esgoto a ser reutilizado;
- Grau de tratamento necessário;
- Sistema de reservação e de distribuição;
- Manual de operação e treinamento dos responsáveis.

Os usos previstos para o esgoto tratado são os de lavagens de pisos, calçadas, irrigação de jardins e pomares, manutenção das águas nos canais e lagos dos jardins, nas descargas das bacias sanitárias, entre outros. O volume de esgoto a ser reutilizado deve ser quantificado de acordo com os usos definidos para todas as áreas. Para tanto, devem ser estimados os volumes para cada tipo de reúso considerando as condições locais tais como: clima, frequência de lavagem e de irrigação, volume de água para descarga das bacias sanitárias, sazonalidade de reúso, etc.

O grau de tratamento para uso múltiplo de esgoto tratado é definido, como regra geral, pelo uso mais restrigente quanto à qualidade de esgoto tratado. No entanto, conforme o volume estimando para cada um dos usos, pode-se prever graus progressivos de tratamento (por exemplo, se o volume destinado para uso com menor exigência for expressivo, não haveria necessidade de se submeter todo volume de esgoto a ser reutilizado ao máximo grau de tratamento, mas apenas uma parte, reduzindo-se o custo de implantação e operação), desde que houvesse sistemas distintos de preservação e de distribuição.

Nos casos simples de reúso menos exigentes pode-se prever o uso da água de enxágue das máquinas de lavar, apenas desinfetando, reservando aquelas águas e

recirculando para a bacia sanitária, em vez de enviá-las para o sistema de esgoto para posterior tratamento.

Em termos gerais, podem ser definidas a seguinte classificação e respectivos valores para esgotos, conforme reúso na agricultura:

- Classe 4: reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Coliforme fecal inferior a 5000 NMP/100 mL. e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/L. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

### 3.10 *Wetlands*

Conforme Naime & Garcia (2005) as enraizadas construídas, também são conhecidas como *wetlands*, alagados construídos, zona de raízes e leitos cultivados, sendo as primeiras observações, no Brasil, partindo das planícies inundadas da região amazônica.

Os primeiros registros remetem a Salati (1982); posteriormente, tantas outras pesquisas foram desenvolvidas visando aumentar a eficiência e reduzir os custos da utilização das *wetlands* com destaque a SABESP (Companhia de Saúde Básica do Estado de São Paulo), SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) e CESP (Companhia Elétrica do Estado de São Paulo).

A tecnologia utilizada nas *wetlands* é totalmente diferente dos sistemas que preconizam a utilização dos aguapés (*Eichornia spp*) em lagoas de tratamento, tecnologia que também tem alcançado bons resultados.

Os componentes fundamentais das *wetlands* são as macrófitas aquáticas, o substrato e os biofilmes de bactérias que são responsáveis pelos mecanismos de remoção de matéria orgânica, nutrientes e patógenos.

Para este trabalho optamos pela utilização de *Zantedeschia aethiopica L.* que, segundo Zanella (2008), no pós-tratamento, contribui no polimento final do efluente além de agregar valor paisagístico e ornamental do empreendimento.

As estações de tratamento que utilizam *wetlands* podem ser denominadas como sistemas físico-biológicos idealizados segundo a lógica da utilização dos biofiltros constituídos por raízes. Nestes sistemas, o esgoto é lançado por meio de uma rede de

tubulações para abastecer a zona de raízes. Esta área plantada deve ser dimensionada de acordo com a demanda de esgotos prevista para a situação (VAN KAICK, 2002).

As *wetlands* são consideradas filtros biológicos em que micro-organismos aeróbios e anaeróbios fixados à superfície do substrato e em associação com a rizosfera e outras partes submersas da planta, atuam produzindo reações de purificação da água, criando um ambiente favorável ao desenvolvimento da vida. Este sistema tem se mostrado viável sob o enfoque tecnológico e econômico, principalmente para pequenas comunidades em áreas isoladas, devido ao seu baixo custo de implantação, e facilidades de operação e manutenção segundo Naime & Garcia (2005).

As *wetlands* como sistemas de pós-tratamento podem ter fluxo superficial, porém, desta forma fomentam a proliferação de insetos e a produção de mau cheiro. Este tipo de sistema de tratamento, quando construídos com fluxo subsuperficial, essencialmente são filtros lentos horizontais preenchidos com meio suporte (areia, palha de arroz, saibro e brita no caso deste projeto), que servem como meio de suporte para o desenvolvimento das macrófitas.

A água a ser tratada escoar por gravidade, horizontalmente ou verticalmente, através do substrato do leito, o que evita a proliferação de insetos e produção de mau cheiro, permitindo a sua localização próxima a pessoas ou animais.

O fundo do leito possui uma pequena inclinação, em geral 1%. Este processo de fluxo subsuperficial é muito utilizado no tratamento de efluentes de pequenas comunidades.

## MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Implantação do projeto.

A estação de tratamento de efluentes (ETE) foi instalada na Universidade Federal de São Carlos, no Centro de Ciências Agrárias, localizada na área rural do Município de Araras, Estado de São Paulo nas coordenadas: latitude 22° 18' 53,23" Sul e longitude 47° 23' 00,91" Oeste; elevação de 701 m. O clima local, de acordo com a classificação de Köpen (1948) é do tipo Cwa (subtropical), com chuvas de verão e com uma precipitação média anual de 1.300 mm. O efluente bruto gerado é proveniente do refeitório e banheiros do prédio central que são utilizados por funcionários, alunos e visitantes.

A ETE foi dimensionada para receber, aproximadamente, 2.000 a 2.500 L. de efluente por dia com TDH de 22 horas. Esta estação de tratamento possui várias etapas esperando-se delas a melhor depuração dos resíduos além do aproveitamento dos nutrientes resultantes do processo de tratamento, para a fertirrigação.

A ETE foi dividida em quatro estágios, como mostra a Figura 1, sendo: tanque séptico, tanque de microalgas, filtro anaeróbio de fluxo ascendente e *wetlands*. Todos os compartimentos são estanques, de material impermeabilizado (polietileno) para que seja evitado qualquer tipo de vazamento e conseqüente contaminação do solo, lençol freático ou aquífero subterrâneo.

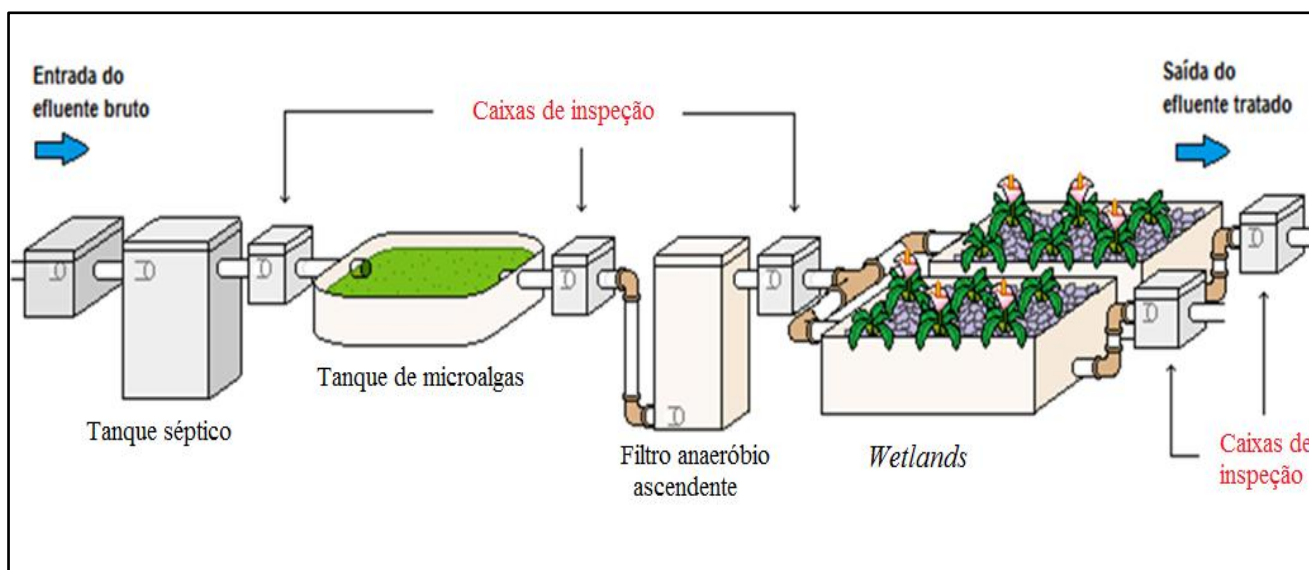


Figura 1. Ilustração esquemática da ETE instalada no Campus

PULSCHEN, 2012

## 4.2 Função das unidades

A função do tanque séptico é a de remover a maior parte dos sólidos em suspensão e sedimentáveis os quais sofrem o processos de digestão aeróbia e anaeróbia.

Mesmo sendo o tanque séptico apenas um tanque de sedimentação a remoção da matéria orgânica é alta, também porque neste estágio o efluente permanece em depuração por 22 horas aproximadamente.

Este esgoto, ainda com elevadas concentrações de matéria orgânica dirige-se ao tanque de microalgas onde ocorre, além da redução da matéria orgânica, redução de alguns elementos químicos como: nitrogênio e fósforo. Após este processo o efluente segue para o filtro anaeróbio de fluxo ascendente para a remoção complementar da demanda bioquímica de oxigênio.

O filtro anaeróbio de fluxo ascendente apresenta similaridade com os filtros biológicos percoladores aeróbios. Em ambos os casos a biomassa cresce aderida a um meio suporte, usualmente pedras britadas.

Os sistemas de tratamento, com pouquíssimas exceções, não utilizam micro-organismos específicos para decompor a matéria orgânica do efluente, sendo este considerado aberto.

O último estágio da ETE denomina-se *wetlands*. Pesquisas constataram que um solo com presença de raízes possui muito mais bactérias do que um solo isento destas. Sabe-se que ao redor das raízes, a chamada rizosfera, pode elevar em 120 vezes a densidade bacteriana, (RIBAS e FORTESNETO, 2006).

Sendo assim, visando alcançar maior eficiência do sistema, associou-se à fossa-filtro, as *wetlands* com a função de promover polimento ao efluente final.

O filtro anaeróbio de fluxo ascendente contém brita nº 4 e nas *wetlands* usa-se brita nº 1 onde serão plantadas mudas de espécie vegetal adaptada a solos úmidos e/ou saturados e ricos em matéria orgânica. Neste projeto, optou-se por utilizar a *Zantedeschia aethiopica L.*, conhecida popularmente como Copo-de-leite, que além de mostrar-se eficiente no tratamento de efluentes sanitários contribui com embelezamento paisagístico por tratar-se de espécie ornamental (CALHEIROS et al., 2010).

## 4.3 Instalação da ETE

Em Dezembro de 2011, a construção da estação de tratamento de efluentes teve

início após o dimensionamento desejado e a aquisição dos tanques disponíveis no mercado.

Os tanques atendem os volumes esperados (2.000 a 2.500 L. de efluente por dia) acatando as determinações preconizadas pela NBR 7.229/1993.

Os tanques adquiridos foram adaptados aos seguintes reatores: tanque séptico, tanque de microalgas, FAFA, *wetlands* (dois tanques) e por fim um tanque de 2.500 L. para armazenamento do efluente tratado, garantindo os experimentos de reúso na agricultura.

Para o pré-tratamento e pontos de coleta, foram utilizadas caixa de gordura e caixas de inspeção prontas. As valas e as perfurações para o posicionamento dos tanques foram feitas com auxílio de retroescavadeira (Figura 2).

Para calçar e nivelar o fundo das cavidades e garantir a estabilidade dos reatores utilizou-se, inicialmente, areia grossa.

Todos as cavidades foram niveladas de modo a apresentar um declive de 5 cm em relação à subsequente, permitindo o fluxo de água pela estação através da gravidade.

O tanque séptico e o filtro anaeróbio foram posicionados em seus respectivos lugares. Contudo, antes de se ter a oportunidade de completá-los com água, uma forte chuva ocasionou um deslizamento amassando os tanques já posicionados.



**Figura 2.** Cavidades escavadas para inserção dos tanques

Os tanques tiveram que ser removidos e trocados (Figura 3). Após este fato, decidiu-se adicionar manilhas de concreto em forma de anéis, para impedir que a terra danificasse os tanques novamente.

Com o novo material, as covas foram reabertas, os níveis acertados e os tanques reposicionados em base de concreto para suportá-los, juntamente com as manilhas



recém-adquiridas (Figura 4).

Após a reinstalação, procedeu-se a montagem do tanque de microalgas e da caixa de gordura. Esses dois componentes, por serem menores e não precisarem ser enterrados não apresentaram problemas em sua instalação.

Juntamente com o posicionamento destes últimos, iniciou-se a instalação do interior do tanque séptico e do filtro anaeróbio de fluxo ascendente.



**Figura 3.** Tanques danificados após o soterramento



**Figura 4.** Tanques envoltos nas anilhas de concreto

No tanque séptico, foram posicionadas duas tubulações de 2 polegadas em

formato similar a um “T”, de modo a não coletar a espuma formada nas porções superiores do tanque (Figura 5).

No filtro anaeróbio de fluxo ascendente, uma mangueira “sanfonada” e perfurada em seu comprimento foi instalada no fundo do tanque a fim de permitir melhor distribuição do efluente pela unidade (Figura 6).

Após a instalação da mangueira, esse tanque foi coberto com brita nº 4 até, aproximadamente, 5 cm antes do bocal de saída do efluente. Com a construção do interior dos tanques, procedeu-se a conexão dos que já estavam instalados.

As conexões foram feitas, quase que inteiramente, utilizando tubulações da linha hidráulica (marrom) verificando, em cada ponto, a eficiência do escoamento da água. Uma sequência de fotos da montagem das conexões é apresentada na Figura 7.

Após a montagem das conexões, uma nova chuva forte atingiu a ETE, ocorrendo elevação do lençol freático na área.

O filtro anaeróbio de fluxo ascendente, já preenchido com brita, não sofreu danos. Contudo, o tanque séptico que continha água apenas até a metade acabou sendo levantado, erguendo consigo um dos anéis de concreto danificando parcialmente as conexões e o próprio tanque (Figura 8).



**Figura 5.** Interior do tanque séptico, antes e depois a instalação do tubo para coleta do efluente líquido





**Figura 6.** Interior do filtro anaeróbio de fluxo ascendente. Na esquerda, a mangueira instalada e depois seu preenchimento com brita nº 4

Após o término desta manutenção, iniciou a instalação das *wetlands* (Figura 9). Uma base de concreto foi montada para os dois tanques de 1.000 L cada. Para estes compartimentos, o efluente é recebido pela parte superior dos tanques, atravessa a brita por gravidade e é coletado no fundo.

Para garantir o nível de água nestes, um sistema de sifão foi montado que regula a lâmina d'água nos dois leitos.

A fim de se distribuir igualmente o efluente para as plantas, tubulações em forma de quadrado, com perfurações no seu comprimento foram colocadas sobre a superfície da brita.



**Figura 7.** Imagens da construção das conexões da estação





**Figura 8.** Tanque séptico danificado após a elevação do lençol freático

Tanto os sifões para regulagem do nível como as tubulações para a distribuição são ilustrados na Figura 10. Após o término da montagem destes tanques, foram preenchidos com brita nº 1.

Por fim, os *wetlands* foram unidos ao tanque final de armazenamento o qual, quando cheio, libera o excesso de efluente por um ladrão, destinando o excedente para o antigo sistema de tratamento da instituição.

Finalizada a montagem de todos os tanques da estação, foi liberado o fluxo do efluente da Universidade. Tendo em vista os valores de vazão previamente calculados, mínimo em torno de 2.300 L e máximo de 5.050 L, decidiu-se que, aproximadamente, 50% do potencial de efluente gerado seriam destinados ao projeto, sendo o restante conduzido ao sistema de tratamento antigo.

O controle da vazão destinada à ETE foi feito com uma conexão em Y no ponto de recepção, o qual permite regulagens ou desligamento quando necessário.

Problemas eventuais de conexão e posicionamento das caixas de inspeção foram corrigidos conforme o sistema se enchia de efluente, adequando assim a estação para o início das atividades de monitoramento.



**Figura 9.** *Wetlands* posicionados



**Figura 10.** Imagem do sistema de sifão na saída dos tanques (esquerda) e tubulações em forma de quadrado para distribuição igualitária do efluente (direita)

Por fim, os Copos-de-leite foram plantados no tanque em covas de 15 cm de profundidade e 10 cm de espaçamento entre plantas, para o início do seu desenvolvimento e função (Figura 11).

O tanque de microalgas, apesar de já instalado e conectado ao resto da estação não foi ativado no início da operação, pois o inóculo estava sendo preparado em laboratório.

Transcorridos a montagem da estação e o período de ajustes, iniciou-se o monitoramento da eficiência da estação de tratamento e de seus tanques individualmente. Uma imagem da estação finalizada pode ser vista na Figura 12.





**Figura 11.** Plantio dos Copos-de-leite



**Figura 12.** Estação de tratamento conectada e pronta para a recepção do efluente

#### **4.4 Monitoramento da ETE**

O monitoramento da estação foi feito através de coletas de amostras nas caixas

de inspeção entre as unidades da ETE, sendo o primeiro ponto coletado em esgoto bruto.

Durante o período de 12 meses foram realizadas amostragens semanais e feitas as seguintes análises: DBO, DQO, turbidez, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e potencial hidrogeniônico (pH) para avaliação da possível redução da matéria orgânica e eficiência do sistema de tratamento. Também foram feitas análises para determinação de alguns elementos considerados importantes para a agricultura como: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na) e cálcio (Ca) objetivando verificar a possibilidade da utilização deste resíduo no setor agrícola através da fertirrigação. Estas análises obedeceram a metodologia da STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 20 ed..

#### **4.5 Volume das unidades da ETE**

- Tanque séptico (conforme NBR7229/93).

$V = 5,0 \text{ m}^3$ , Dimensão: 2,30 m de largura x 2,30 m de comprimento x 2,50 m de profundidade.

- Tanque de microalgas.

$V = 1,0 \text{ m}^3$ ; Dimensão: 3,6 m de largura x 3,6 m de comprimento, respeitando a profundidade máxima de 1,0 m para permitir o metabolismo fotossintético com alto tempo de detenção hidráulica (VON SPERLING, 1996).

- Filtro anaeróbio de fluxo ascendente (conforme NBR7229/93).

$V = 2,0 \text{ m}^3$ , Dimensão: 2,70 m x 2,70 m x 1,80 m

- *Wetlands*.

$V = 2,0 \text{ m}^3$ . Observação: O leito cultivado, devido as suas dimensões, foi dividido em dois tanques com volumes iguais de  $1,0 \text{ m}^3$  cada e instalados paralelamente. Dimensão de cada tanque: 3,6 m de largura x 3,6 m de comprimento x 1,0 m de profundidade.

#### **4.6 Procedimentos para amostragem do efluente, análises microbiológicas e químicas.**

As amostragens foram feitas semanalmente através de 5 pontos de coleta alocados entre os estágios da estação de tratamento. Foram utilizados recipientes esterilizados e encaminhados, no mesmo momento, ao laboratório de solos do



Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental e Laboratório de Microbiologia Aplicada e Controle da UFSCar para as devidas análises.

O desempenho da ETE na remoção de nutrientes das águas residuárias foi avaliado pela determinação da demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio, fósforo, potássio, coletados na entrada e saída dos tanques. A DQO foi determinada pela metodologia oficial proposta pelo Standard Methods, com oxidação da matéria orgânica por dicromato de potássio (APHA, 2005).

O nitrogênio deste efluente foi avaliado pelo Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) após digestão, destilação e titulação da amostra (APHA, 2005). O teor de fósforo determinado nas amostras como Fósforo Total (FT) por espectrofotometria utilizando o método do ácido cítrico (APHA, 2005).

A eficiência de remoção de matéria orgânica foi avaliada, percentualmente, pela diferença na concentração dos substratos considerados na entrada e saída dos biorreatores. A biomassa de microalgas cultivadas no tanque foi avaliada pela variação de turbidez do meio reacional em turbidímetro. Para amostragem de efluente proveniente do wetland procedeu-se coleta de 100 mL de água residuária na saída do sistema em frasco de vidro esterilizado com tampa.

A metodologia empregada para a contagem do número mais provável (NMP) de Coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*) seguiu o preconizado pela STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 20 ed., utilizando-se da metodologia Colilert da IDEXX. A concentração de coliformes foi expressa em número mais provável (NMP) em 100 mL de água, o qual é obtido através de tabela nesta mesma edição do Standard Methods.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Caracterização do efluente e propagação do inóculo de *Desmodesmus subspicatus* em laboratório**

A caracterização do efluente bruto foi realizada no período de 22/11/11 até 08/12/11, totalizando 10 amostras (PULSCHEN, 2011). Os resultados são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Caracterização do efluente

Parâmetro	Média	Máximo observado	Mínimo observado
DQO (mg/L)	479,5	2044	104,4
DBO (mg/L)	174,8	465	68
Nitrogênio total (mg/L)	61,9	142	22
Fósforo total (mg/L)	12,6	30,3	6,2
pH	7,4	7,8	6,1
Condutividade (uS/cm)	769,5	1455	222,5
Oxigênio dissolvido (mg/L)	2,14	5,65	0,3
Na (mg/L)	21,45	58,8	8,7
K (mg/L)	8,44	21,5	3,1
Ca (mg/L)	11,35	29,8	2,4
Turbidez (NTU)	173,2	443	32,7
Coliformes totais (NMP/100 mL)	$3,1 \times 10^8$	$1,0 \times 10^9$	$2,1 \times 10^6$
<i>E. coli</i> (NMP/100 mL.)	$2,6 \times 10^6$	$1,4 \times 10^8$	$2 \times 10^5$

Através de consultas a pesquisadores como Martínez, M. E. (2000); Xin, L. (2010) e dos ensaios laboratoriais desenvolvidos por PULSCHEN (2012), verificou-se que a microalga *Desmodesmus subspicatus* seria mais atuante para o desenvolvimento do experimento já que se mostrou efetiva na remoção de NT e PT do esgoto possuindo, também, sedimentabilidade natural evitando a perda da biomassa para o tanque subsequente. A propagação celular foi feita utilizando o próprio efluente como meio de crescimento garantindo que a microalga já se aclimatize ao meio podendo ser utilizado como inoculo inicial do experimento.

Fazendo-se uso de frascos plásticos previamente esterilizados, o efluente foi coletado no período da manhã (entre 9 e 10 h) por apresentar maiores cargas de DQO e Nitrogênio, segundo análises desenvolvidas. O efluente foi filtrado em tela de malha com poros de 1 mm, para remoção dos sólidos grosseiros, analisado quanto a seu pH, sendo ajustado manualmente quando necessário (utilizando solução de NaOH 0,1 M) para 7.2; transferidos 3,5 L. para frascos de vidro de 6 L sendo autoclavado em seguida. Após o resfriamento natural do frasco, este foi inoculado com a biomassa e colocado sobre bancada em condições ambiente. A biomassa inicial foi proporcionada pelo laboratório de microbiologia aplicada e controle da instituição. A aeração foi proporcionada por duas bombas com pedras porosas conectadas em suas extremidades. O desenvolvimento da microalga foi acompanhado por contagem em câmara de Neubauer, durante 10 dias.

A contagem inicial no frasco (Frasco 1) foi de  $7 \times 10^5$  cél/mL. Após 5 dias, a contagem atingiu seu valor máximo, de  $6 \times 10^6$  cél/mL. O mesmo valor foi encontrado

após 10 dias de crescimento. Posterior a esse aumento inicial do inoculo, mais 7 L. de efluente foram coletados e tratados seguindo esta mesma metodologia. O efluente foi distribuído em dois outros frascos de 6 L (aprox. 3,5 L para cada frasco) e foram inoculados com as microalgas cultivadas no frasco anterior, atingindo a concentração inicial de  $6 \times 10^5$  cél/mL. Novamente o crescimento foi acompanhado por contagem em câmara de Neubauer durante 10 dias, atingindo  $1,25 \times 10^6$  cél/mL (Frasco 2) e  $3 \times 10^6$  cél/mL (Frasco 3) no final do cultivo.

Portanto, o crescimento do inoculo em laboratório foi dividido em duas etapas: Um primeiro aumento de biomassa, utilizando apenas 3,5 L de efluente e depois o uso de 7 L de efluente, com parte da biomassa gerada no primeiro frasco, totalizando 3 frascos com cerca de 10,5 L de inoculo. Os resultados do crescimento nos frascos foram organizados em forma de tabela (Tabela 3) para melhor visualização.

**Tabela 4.** Crescimento do inoculo de *Desmodesmus subspicatus* em laboratório

<b>Frasco (3,5 L de efluente)</b>	<b>Contagem inicial</b>	<b>Contagem final (Após 10 dias)</b>	<b>Média final nos frascos</b>
1	$7 \times 10^5$ cél/mL	$6 \times 10^6$ cél/mL	
2	$6 \times 10^5$ cél/mL	$1,25 \times 10^6$ cél/mL	$\sim 3 \times 10^6$ cél/mL
3	$6 \times 10^5$ cél/mL	$3 \times 10^6$ cél/mL	

Ao fim do cultivo, obtiveram-se 10,5 L de inoculo de *Desmodesmus subspicatus* aclimatizada com o efluente da universidade, com concentração média de  $3 \times 10^6$  cél/mL, e foram inoculadas no tanque de microalgas, com volume útil aproximado de 900 L na data 03/07/12.

## 5.2 Desempenho geral da ETE

Os tanques biológicos conseguiram se adaptar com sucesso ao efluente da Universidade. O filtro anaeróbio de fluxo ascendente visualmente apresentou, em poucos dias, uma malha considerável de biofilme sobre a brita suporte. O tanque de microalgas foi inoculado no dia 03/07/12 e após 40 dias, apresentou intensa coloração verde e crescimento dos organismos. Quanto aos Copos-de-leite nas *wetlands*, apresentam crescimento vigoroso e florescimento (Figura 13).

A estação entrou em funcionamento no dia 10/05/12, sendo analisada entre os

períodos de 25/05/12 até 17/04/13, totalizando 27 dias de coletas de amostras e 135 amostras analisadas. Devido ao grande número de amostras analisadas, a eficiência geral da estação foi disposta em forma de gráfico de barras (Figura 15) utilizando-se a média dos dias analisados para todos os parâmetros, sendo considerados os valores médios de entrada e saída neste período, sendo a entrada esgoto bruto e saída após as *wetlands*. O experimento demonstra resultados de redução de DQO e DBO na ordem de 94,8% e 93,3%, apresentando valores médios de 30,52 mg/L e 11,63 mg/L, respectivamente. Os valores adquiridos para os parâmetros DQO e DBO respeitam o Decreto nº 8.468/76, art. 18, que estipula 60 mg/L de matéria orgânica no efluente. A maior remoção de DBO ocorreu no dia 04/07/12, atingindo eficiência de 97,3%. Segundo Hespanhol et al. (2003), valores de DBO de até 100 mg/L não afetam a absorção de água pelas raízes das plantas. Alguns autores recomendam que os valores de DBO devam ser de até 30 mg/L para irrigação de culturas consumidas cozidas e 10 mg/L para plantas consumidas cruas, estando portanto o efluente muito próximo do adequado inclusive para culturas de consumo cru.



**Figura 13.** Copos-de-leite em desenvolvimento na estação de tratamento

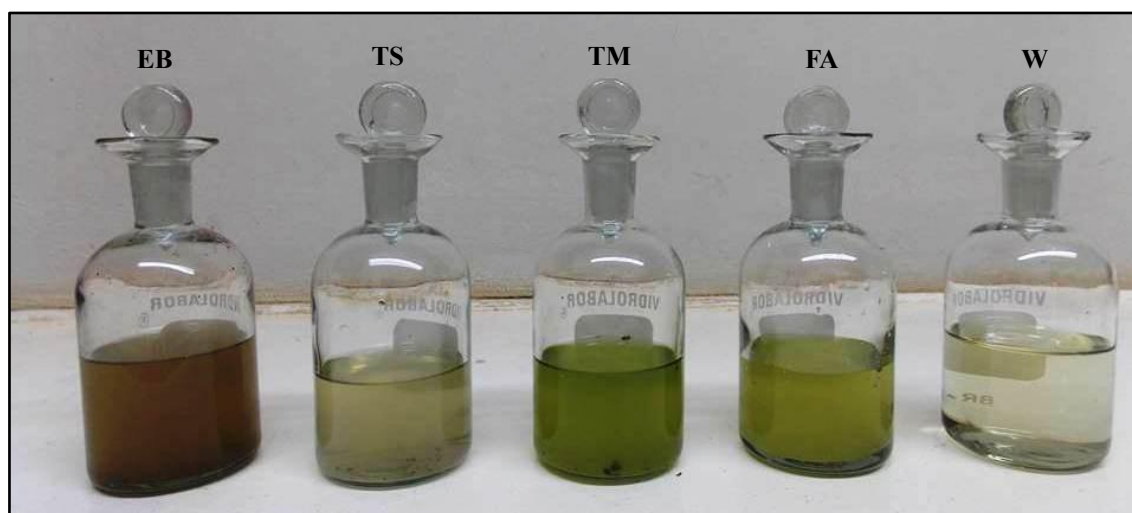
A estação apresentou redução de turbidez do efluente (95,5%), sendo que esse parâmetro não sofreu redução gradativa, variando bastante de unidade para unidade. Um exemplo deste fato é o aumento da turbidez no tanque de microalgas devido à intensa coloração esverdeada proveniente da proliferação da flora microbiológica.

A alteração na turbidez do efluente pode ser vista na Figura 14 sendo seu valor de 11,91 NTU (unidade nefelométrica de turbidez) enquadrando-se nas determinações da resolução CONAMA 357/05 para corpos hídricos de classe 1.

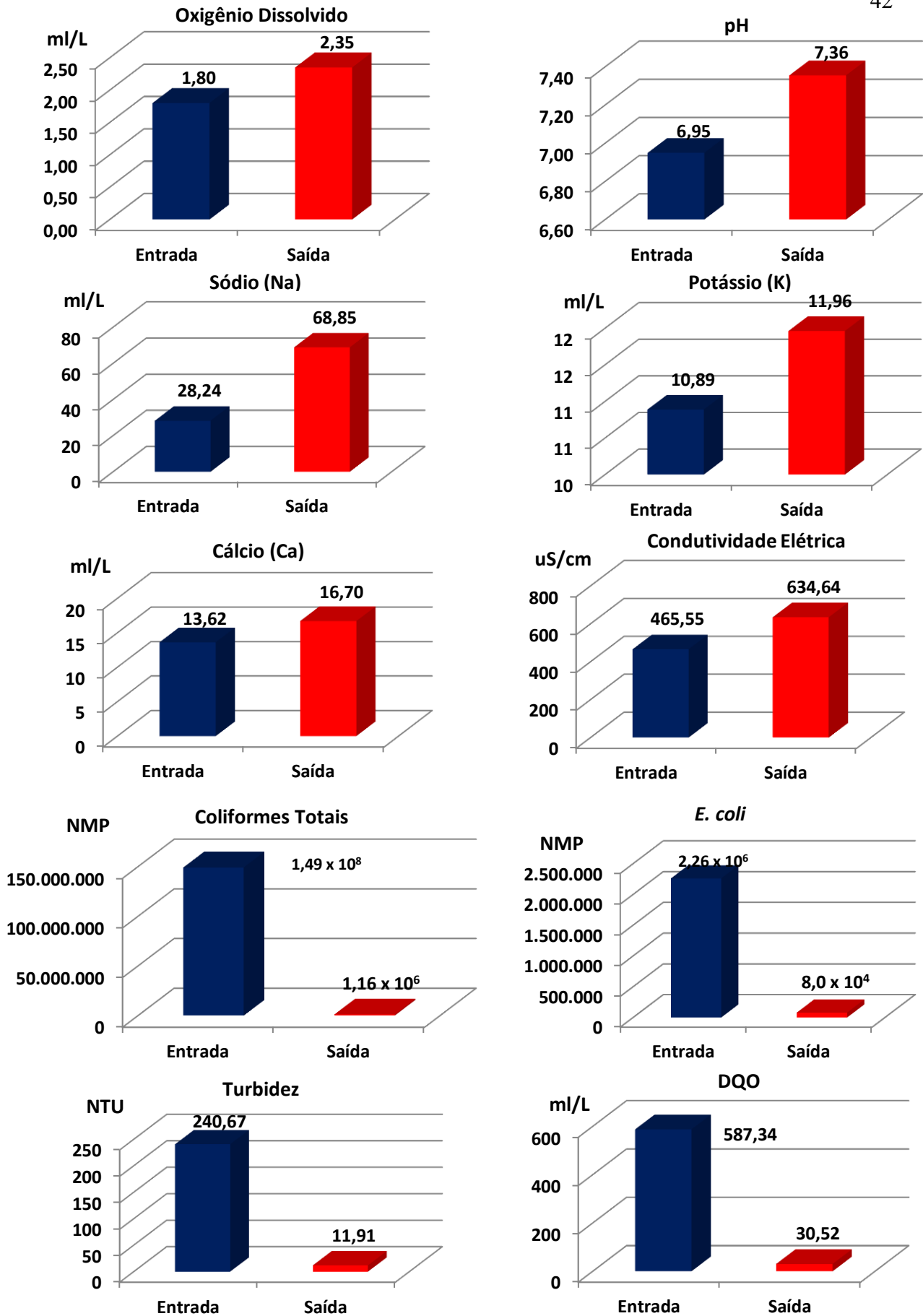
A ETE também exibiu redução de coliformes totais (99,2%) e *E. coli* (96,4%). Todavia, em todas as análises realizadas desde o dia 12/07/12, a concentração de coliformes totais ficou abaixo do limite de detecção das diluições empregadas (<1000 células/mL), o que sugere que a eficiência pode ser ainda maior. Em alguns dias, como 04/07/12 e 16/08/12, a remoção chegou a valores acima de 98,6% e 99,3% de *E. coli*, sendo os dias com maior eficiência da estação para este parâmetro.

De acordo com o Decreto nº 8.468/76, art. 18, os valores máximos de coliformes termotolerantes, onde se enquadra a *E. coli*, são de 100 NPM/100mL e de 5.000 NPM/100mL para coliformes totais, sendo que esses valores não foram observados em nenhum dos dias do tratamento. Todavia, deve-se considerar a alta concentração de coliformes presentes no efluente inicial ( $3,22 \times 10^8$  NPM/100mL e  $2,62 \times 10^7$  NPM/100mL, respectivamente), o que dificulta a redução para os parâmetros exigidos pelo decreto e indica a necessidade de tratamento terciário para a utilização do sistema em comunidades rurais e isoladas.

Quanto ao pH, este teve uma leve alteração entre as unidades da ETE que varia de 7,4 a 6,9 e de acordo com o Decreto nº 8.468/76, art. 18 o pH deve ficar entre os valores de 5 e 9. O oxigênio dissolvido teve eficiência de 31% partindo de 1,80 mg/L na entrada para 2,35 mg/L na saída da estação. Esse aumento de oxigênio dissolvido é atribuído à atuação do tanque de microalgas e *wetlands* devido à sintetização da fotossíntese. Estes valores apresentam-se adequados ao uso na agricultura.



**Figura 14.** Mudanças de turbidez. EB: Esgoto Bruto; TS: Tanque Séptico; TM: Tanque de Microalgas; FA = Filtro Anaeróbio e W = *Wetlands*



**Figura 15.** Análises geral da eficiência da estação, em relação à média dos valores de entrada (esgoto bruto) e saída (último ponto de coleta)

Em relação à condutividade elétrica, pode-se observar o aumento de 36,3% em relação ao início da estação. Esse aumento na condutividade elétrica reflete o acúmulo de cálcio, sódio e potássio nos estágios que contém brita na estação. O sódio apresentou um aumento de 143,7%, sendo o cátion que mais aumentou em concentração. O cálcio aumentou 23% e o potássio 10%. A elevação dos valores desses cátions é atribuída ao acúmulo do efluente nos estágios com brita e, também, pelo aumento do tempo de retenção hidráulica corroborando o ocorrido no estudo desenvolvido no Município de Braço do Norte/SC por Araújo et al. (2012), que mostra seu estágio denominado “filtro de pedra” como acumulador de matéria orgânica e, conseqüentemente, elementos que nela contém.

Segundo Almeida (2010), o intervalo usual de condutividade em águas de irrigação varia de 0 – 3000 uS/cm, porém, também ressalta que elevadas concentrações salinas podem trazer prejuízo à cultivar e solo, caso a irrigação seja feita de modo inadequado, também observado por Cerqueira et al. (2008).

No caso da estação, o valor médio encontrado foi de 615 uS/cm. Sandri et al. (2006), em seu trabalho, utilizou água de reúso para irrigação do alface, com valores de condutividade entre 520 uS/cm e 630 uS/cm. Usando como classificação os parâmetros propostos por Ayers & Westcot (1991), a água utilizada possuía salinidade sem nenhum grau de restrição em que a condutividade pode chegar a até 0,7 dS m<sup>-1</sup>, podendo ser utilizada na irrigação sem nenhum problema, até mesmo para culturas mais sensíveis à salinidade.

**Tabela 5.** Eficiência geral da ETE

Análises	Entrada	Coef. Variação	Saída	Coef. Variação	Eficiência (%)
<b>O. D. (mg/L)</b>	1,80	± 1,52	2,35	± 0,98	<b>131</b>
<b>pH</b>	6,95	± 1,23	7,36	± 0,52	<b>06</b>
<b>C.E. (uS/cm)</b>	465,55	± 219,97	634,64	± 193,80	<b>36</b>
<b>Turbidez (utm)</b>	240,67	± 167,01	11,91	± 31,55	<b>95</b>
<b>Na (mg/L)</b>	28,24	± 21,89	68,85	± 28,74	<b>144</b>
<b>K (mg/L)</b>	10,89	± 7,99	11,96	± 3,57	<b>10</b>
<b>Ca (mg/L)</b>	13,62	± 9,72	16,70	± 8,56	<b>23</b>
<b>NTK (mg/L)</b>	113,11	± 39,34	77,65	± 33,46	<b>31</b>
<b>PT (mg/L)</b>	66,00	± 70,00	14,00	± 0,80	<b>79</b>
<b>C.T. NMP/100mL</b>	149.186.667	± 81.670.734	1.160.164	± 1.213.648	<b>99</b>
<b>E. coli NMP/100mL</b>	2.260.100	± 4.901.559	80.001	± 34.992	<b>96</b>
<b>DQO (mg/L)</b>	587,34	± 430,43	30,52	± 25,64	<b>95</b>

\*Resultados em vermelho são considerados ineficientes

De acordo com esses parâmetros, o efluente estaria adequado para o reúso, porém essa classificação não considera os efeitos sobre o solo.

### 5.3 Eficiência individual de cada unidade da estação

A análise individual dos compartimentos da ETE busca avaliar qual o papel de cada estágio na geração do efluente final. Por se tratar de uma estação com diferentes unidades de tratamento, a eficiência de cada um deles foi analisada de acordo com sua capacidade de redução ou aumento dos parâmetros (DQO, turbidez, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica, Na, N, P, K, Ca, Coliformes totais e *E. coli*) em relação ao efluente de entrada no respectivo filtro, em porcentagem. Ou seja, para o tanque séptico e caixa de gordura, o efluente de entrada é o próprio efluente bruto da universidade, para o tanque de microalgas, o efluente de entrada é o efluente da saída do tanque séptico; para o FAFA, o efluente de entrada é o efluente da saída do tanque de microalgas e para as *wetlands* o efluente de entrada é o efluente da saída do FAFA.

A primeira porção da estação a ser analisada consiste do sistema de caixa de gordura e tanque séptico, o qual apresentou redução de DQO (76,6%), turbidez (80,88%), coliformes totais (86,76%) e *E. coli* (80,99%), sendo a unidade com melhor eficiência para os últimos 2 parâmetros.

Não obstante, neste tanque também se observa o aumento da condutividade (49%), de Na (29,52%), K (45,12%) e Ca (13,58%).

Tanto a redução na DQO, turbidez, coliformes totais, *E. coli*, como o aumento dos valores de condutividade e os cátions podem ser justificados, também, pelo grande volume útil do tanque séptico (4500 L), a qual equaliza todo o efluente recebido para os tanques seguintes, além de reter a água por mais tempo em seu interior.

Retendo o efluente por mais tempo, ocorre uma maior depuração de matéria orgânica e remoção de patógenos.

A caixa de gordura, a qual possui um pequeno sistema de gradeamento, também ajuda a reter parte dos sólidos presentes no efluente, além de remover óleos. Esta passa por limpezas semanais e sempre que quando excede seu potencial de armazenamento.

O fato de o tanque séptico equalizar o efluente também pode ter colaborado para o aumento da condutividade e dos cátions presentes, pois durante o primeiro período de caracterização do efluente (22/11/11 até o dia 08/12/11), onde as amostras eram normalmente coletadas entre 12:00 e 13:00 horas foram observados valores de



condutividade de até 1455 uS/cm, 134 mg/L de Na, 43,9 mg/L de Ca e 52,6 mg/L de K, muito superiores aos valores observados durante o período de monitoramento da estação, a qual é realizado predominantemente no período da manhã, entre 8:30 e 9:30, (PULSCHEN, 2012).

Sendo assim, as características físico-químicas do efluente variam de acordo com a hora do dia, sendo que em certos momentos, os valores de cátions presentes no efluente estão elevados.

Em relação ao tanque de microalgas, este apenas recebeu o inoculo no dia 03/07/12 trabalhando, portanto, por um período como um simples tanque aberto. O potencial desse tanque é remover nitrogênio total e fósforo, além do desenvolvimento das microalgas.

O tanque de microalgas apresentou pequena remoção de DQO (5,18%) e elevou a turbidez do efluente (aumento de 17,37%), sendo o único tanque da estação com este efeito. Neste compartimento tivemos aumento do oxigênio dissolvido no efluente na ordem de 124,42%, além de ter sido o único a diminuir a condutividade elétrica (diminuição de 12,64%) apesar de não ter sido muito expressivo. Não apresentou redução na contagem bacteriológica. Verificou-se a redução do nitrogênio total em 33,55% e fósforo total em 81,16%.

O próximo tanque da estação a ser analisado é o filtro anaeróbio de fluxo ascendente. O parâmetro que mais chama a atenção nesse tanque é o aumento da quantidade de Na (73,16%). Esse aumento reflete na condutividade que, conseqüentemente, aumentou em 11,77%.

Assim como já citado anteriormente, através de um trabalho desenvolvido em Braço do Norte/SC por Araujo et.al (2012), entende-se que os estágios dotados de brita como acumuladores de matéria orgânica e, conseqüentemente, os elementos que nela contém. Este estágio possui redução de DQO (38,63%) e de turbidez (36,35%) e reduz significativamente os valores de *E. coli* (75,69%) e coliformes totais (84,18%) devido a flora microbiológica e microfauna existente.

O último estágio a ser analisado é o denominado *wetland*. Essa unidade apresenta redução de DQO (61,75%), sendo a maior redução desse parâmetro em toda a estação depois do tanque séptico. Possui redução da turbidez na ordem de 65,34%, colaborando para gerar um efluente mais polido ao final do processo. Este estágio contribui com remoção de coliformes totais (63,98%) e diminuição de *E. coli* (31,03%).

A eficiência deste tanque, em relação aos demais, pode estar relacionada à

natureza do efluente que ele recebe. Por já ter passado por três outros diferentes sistemas, o efluente pode se encontrar mais facilmente degradável, facilitando o trabalho da *wetland*. Todavia, Ribas (2007) demonstrou em seu trabalho a eficiência de sistemas de leitos cultivados, ou *wetlands*, com Copos-de-leite, no qual obteve reduções de DQO, coliformes totais e *E. coli*, mesmo em efluentes sem pré-tratamento.

Assim como já discutido anteriormente, na caracterização realizada entre os dias 22/11/11 até o dia 08/12/11, onde as amostras eram coletadas em horários diferentes das coletas realizadas no monitoramento da estação, a média da DQO foi de 466 mg/L, sendo que a média encontrada durante o monitoramento foi de 605 mg/L. Isso demonstra que em certos períodos do dia, o efluente pode estar pouco carregado de matéria orgânica, diluindo o efluente no interior do tanque séptico. Além disso, foi observado que os períodos de maior intensidade de DQO no efluente ocorrem no início do período letivo (8:00 – 8:30), após o almoço (12:00 – 14:00) e no início do período letivo noturno (18:00), sendo que no restante dos horários, o efluente possui uma carga menor de DQO, o que resulta em diluição no interior do tanque séptico. O mesmo poderia ocorrer para os coliformes.

**Tabela 6.** Eficiência individual nas diferentes unidades de tratamento do esgoto

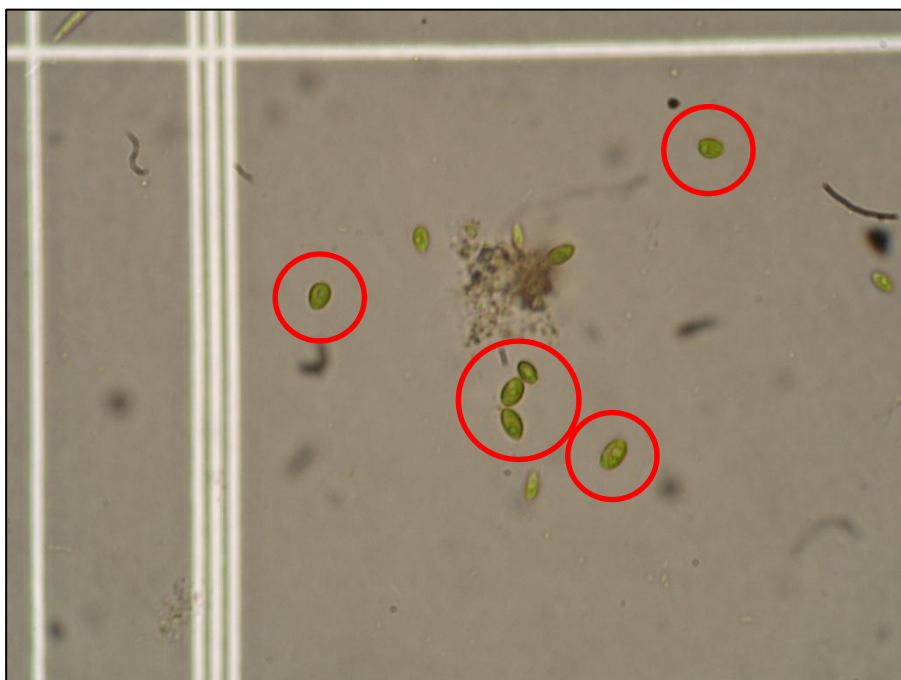
Parâmetro	Caixa de gordura e Tanque séptico	Tanque de microalgas	Filtro anaeróbio	<i>Wetland</i>
	% Eficiência			
DQO	76,65	5,18	38,63	61,75
Turbidez	80,88	NR	36,35	65,34
OD	NA	124,42	NA	NA
Condutividade elétrica	NR	12,64	NR	6,30
Na	NR	0,68	NR	NR
K	NR	4,97	10,76	10,71
Ca	NR	NR	NR	1,20
Coliformes totais	86,76	NR	84,18	63,98
<i>E. coli</i>	80,99	NR	75,69	31,03
NT	--	33,55	--	0,75
PT	--	81,16	--	30,38

\*NR - Não Reduziu, NA - Não Aumentou

Após o tanque séptico, a segunda unidade com maior participação na remoção dos parâmetros citados são as *wetlands*, seguido do FAFA e tanque de microalgas.

#### 5.4 Tanque de microalgas e remoção de NT e PT.

A inoculação das microalgas na unidade da estação foi realizada no dia 03/07/12. Para o monitoramento do desenvolvimento das algas, havia sido proposta inicialmente a medição de clorofila da unidade, segundo a metodologia de APHA, 2005. Todavia, observações microscópicas demonstraram a presença de microalgas (Figura 16) e flagelados pigmentados já existentes neste compartimento, fazendo com que a técnica de extração de clorofila não permitisse o real monitoramento do inoculo.



**Figura 16.** *Desmodesmus subspicatus* em câmara de Neubauer. Microscópio óptico (aumento de 100 x).

Tendo isso em vista, decidiu-se pelo monitoramento por microscopia e contagem em câmara de Neubauer, uma vez que a morfologia das microalgas já existentes na unidade era diferente da *Desmodesmus subspicatus*, além do fato das microalgas já existentes na estação serem predominantemente móveis, o que não se aplica para a *Desmodesmus subspicatus*.

Aproveitando-se do fato do monitoramento por microscopia, observou-se também a evolução da microfauna presente na unidade, a qual pode ser utilizada como indicativo de efetiva depuração do efluente em reatores biológicos (VON SPERLING, 1996), sendo o resultado desse monitoramento disposto na Tabela 3.

Após 40 dias, o tanque de microalgas, antes escuro, apresentou uma intensa coloração esverdeada, devido ao desenvolvimento da microalga (Figura 17), comprovado pela contagem em câmara de Neubauer, já que a concentração inicial de *Desmodesmus subspicatus* era de  $2 \times 10^4$ , atingindo  $3,2 \times 10^6$  após 49 dias. Além do aumento da concentração das microalgas, após 1 mês decorrido o inoculo na estação, um grande número de protozoários livres natantes e ciliados fixos puderam ser observados na unidade, indicativo de redução da carga orgânica e depuração do efluente (VON SPERLING, 1996).

**Tabela 7.** Monitoramento do crescimento de *Desmodesmus subspicatus*

<b>Dia</b>	<b>Contagem (cél/mL)</b>	<b>Coloração da unidade</b>	<b>Observações de Microfauna</b>
Dia 03/07/12	$2 \times 10^4$	Escura	-
Dia 04/07/12	$1 \times 10^4$	Escura	-
Dia 05/07/12	$2 \times 10^4$	Escura	-
Dia 23/07/12	$1,8 \times 10^5$	Ligeiramente verde	-
Dia 06/08/12	$2,41 \times 10^6$	Verde	Protozoários fixos e livre natantes
Dia 13/08/12	$3,02 \times 10^6$	Verde	Protozoários fixos e livre natantes
Dia 20/08/12	$3,2 \times 10^6$	Verde	Protozoários fixos e livre natantes



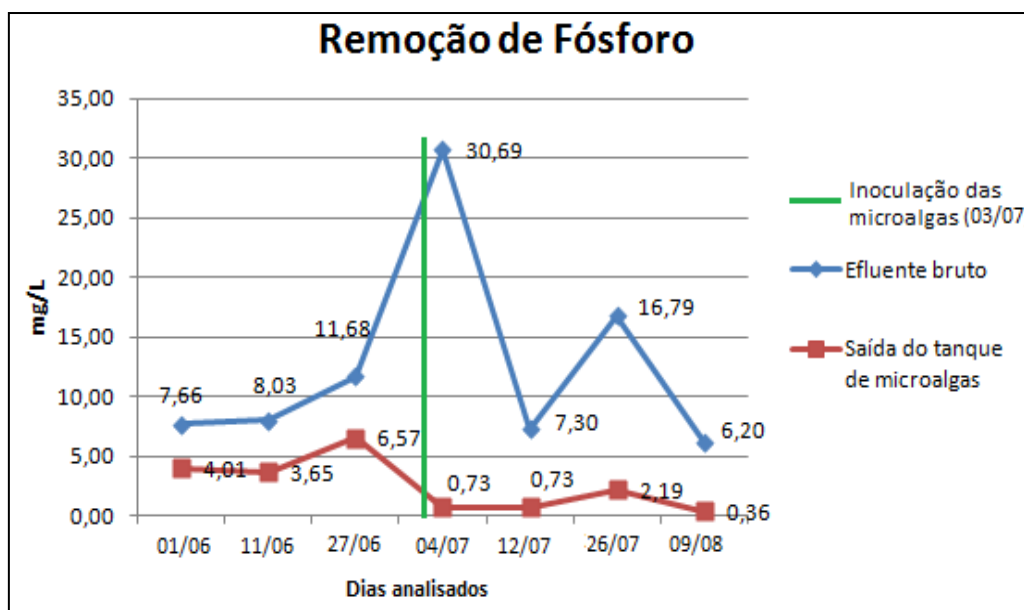
**Figura 17.** Tanque de microalgas antes (esquerda) e depois a inoculação (Direita)

O principal objetivo de se utilizar as microalgas na estação é tentar diminuir a carga de nitrogênio total e fósforo na estação. Como a unidade foi recém-inoculado e a biomassa de microalgas atingiu uma concentração considerável, decidiu-se analisar preliminarmente o efluente para avaliar se a diminuição de PT e NT estava sendo significativa, antes de partir para análises diárias de rotina.

Sendo assim, foram analisadas as amostras dos seguintes dias: 01/06; 11/06; 27/06; 04/07; 12/07; 26/07 e 09/08, sendo que três desses dias antecedem o momento da inoculação e 4 deles são posteriores à inoculação. Como efluente de entrada, foi considerado o efluente bruto da estação, e como saída, aquele proveniente do tanque de microalgas.

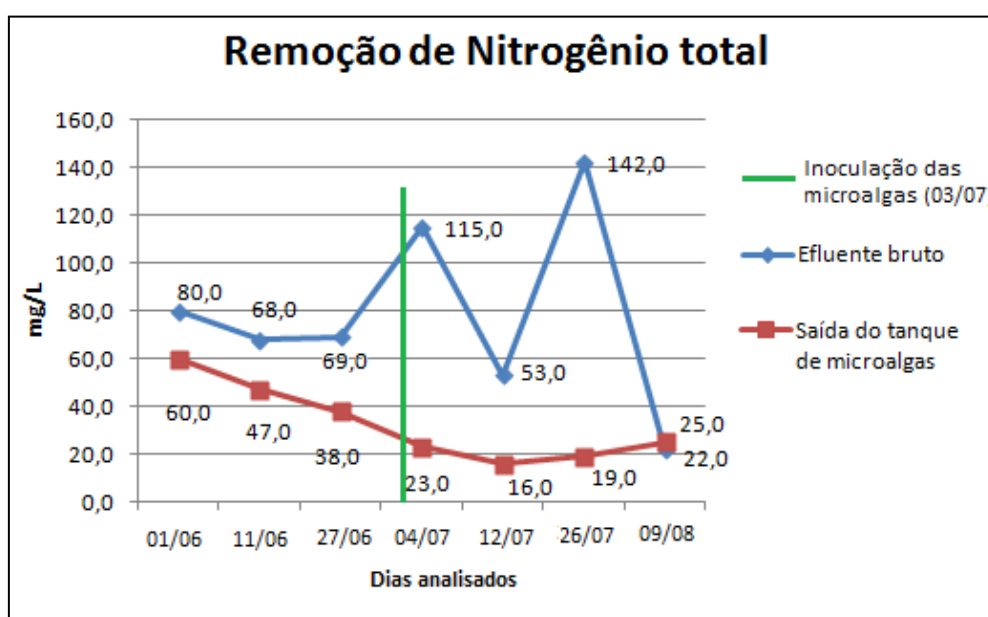
Logo, a eficiência avaliada foi o desempenho conjunto do tanque de microalgas e do tanque séptico, uma vez que pelo perfil de DQO, os dias selecionados seriam aqueles em que a estação estaria apresentando maiores índices de remoção de nitrogênio total e fósforo, e a maior redução se daria entre esses pontos.

Em relação à remoção a remoção de fósforo (Figura 18) percebe-se uma redução na quantidade de fósforo nos dias posteriores à inoculação da microalga. A análise do dia 04 foi realizada apenas um dia antes da análise de rotina, então pouco se pode dizer a respeito da colaboração do tanque de microalgas para essa diminuição. Todavia, em todos os outros dias pode-se observar que o efluente de saída do tanque de microalgas manteve médias inferiores em relação aos dias em que a unidade não possuía microalgas. O mesmo vale para a remoção de nitrogênio (Figura 19), onde se pode observar que após a inoculação da unidade com as microalgas, a média de nitrogênio total tem se mantido menor do que a média anterior ao momento da inoculação, sugerindo que o tanque de microalgas está colaborando para diminuir a quantidade de NT e fósforo no efluente.



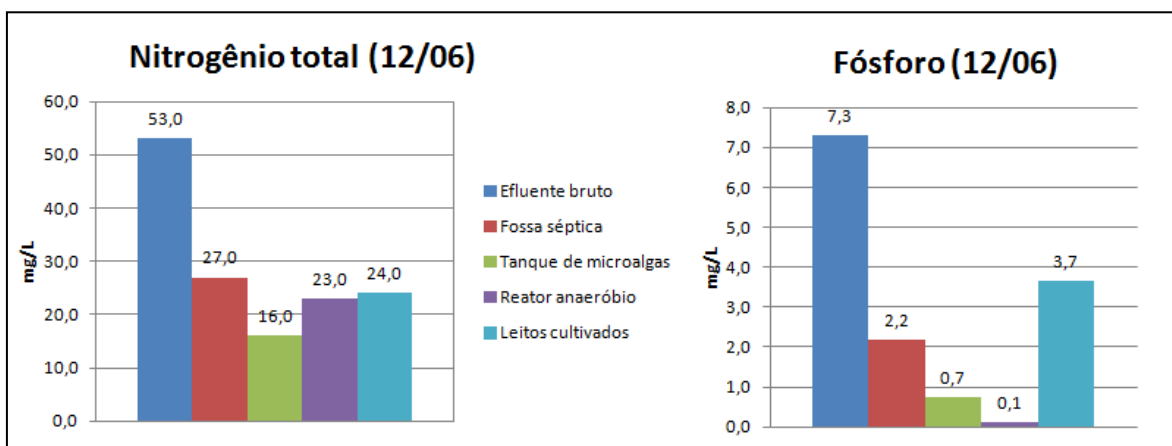
**Figura 18.** Remoção de fósforo pelo tanque de microalgas

Uma ultima análise preliminar foi realizada para verificar se de fato o tanque de microalgas estava colaborando para a redução do nitrogênio total e fósforo na estação. As amostras do dia 12/06 estavam armazenadas em refrigerador, e foram escolhidas para análise de todos os pontos da estação, em relação a fósforo e nitrogênio total (Figura 20). Essa data foi escolhida devido à alta remoção de DQO pelo tanque de microalgas neste dia, além de ter valores de NT e P próximos à média do efluente.



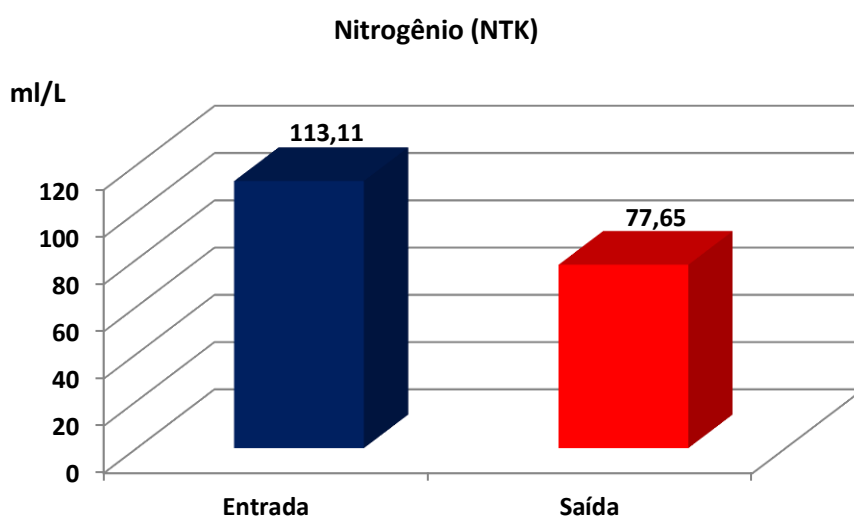
**Figura 19.** Remoção de nitrogênio total pelo tanque de microalgas

A análise mostra que o tanque de microalgas está colaborando com a remoção dos nutrientes no efluente, e não somente o tanque séptico. Apesar de ter sido a análise completa de apenas um dia, juntamente com as outras análises reforçam a ideia de que a unidade está removendo esses nutrientes de forma significativa, o que justificou sua análise com maior frequência durante os dias de coleta e monitoramento.

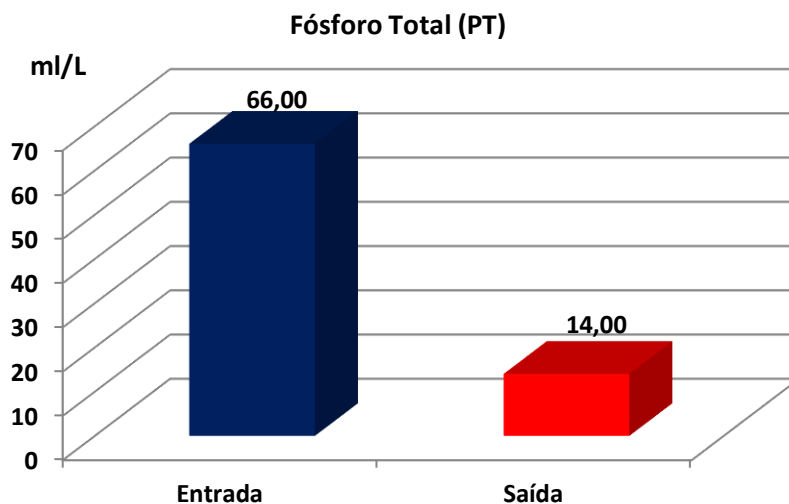


**Figura 20.** Concentração de NT e PT pelos diferentes tanques da estação, no dia 12/06

Os valores totais de NTK e PT, dos dias de monitoramento, foram expressos nas figuras 21 e 22 abaixo, e tabela 5, e corroboram os resultados das análises preliminares quanto à eficiência na remoção destes elementos (nitrogênio total e fósforo total). Salientando que as coletas foram efetuadas apenas nos pontos 1 (esgoto bruto), 3 (tanque de microalgas) e 5 (*wetlands*).



**Figura 21.** Concentração de NT. Entrada - efluente bruto / Saída - último ponto de coleta



**Figura 22.** Concentração de PT. Entrada - efluente bruto / Saída - último ponto de coleta

### 5.5 Viabilidade da aplicação da água gerada na estação para reúso na agricultura

Conforme já abordado, segundo Hespanhol et al. (2003), águas de reúso para fins agrícolas devem possuir pH entre os limites 6,0 e 8,5 e a DBO preferencialmente não deve atingir valores superiores a 100 mg/L.

Tendo em vista esses valores, o efluente está adequado para o reúso na agricultura. Todavia, mesmo com a redução da quantidade de coliformes pelo sistema de tratamento, este ainda possui valores elevados, não podendo ser utilizado a irrigação por aspersão, apenas por gotejamento, método que já está sendo adotado para os experimentos em casa de vegetação na Universidade.

Em relação à condutividade, esta se apresentou elevada e aumentou após passar pelo sistema de tratamento montado na Universidade. Souza et al. (2005) utilizou em seus experimentos água de reúso para a cultura do pimentão, obtendo bons resultados de produção. Todavia, os efluentes utilizados possuíam condutividade entre 1500 uS/cm e 1600 uS/cm, valores mais elevados do que aqueles encontrados na estação da universidade. O mesmo ocorreu com o trabalho de Lucena et al. (2006), no qual os valores de condutividade de água de reúso era de 1360 uS/cm. Talvez pelo fato dos experimentos não terem se estendido por longos períodos, os autores não observaram mudanças no solo após a aplicação da água de reúso, como observado por Cerqueira et al. (2008).

Logo, de acordo com os padrões analisados, o efluente gerado atualmente pela



estação pode ser utilizado para aplicação na agricultura, desde que não se utilize a técnica de aspersão e também se monitore o aumento da salinidade do solo com o passar do tempo.

## 6 CONCLUSÕES

1. Pode-se concluir através do monitoramento da ETE que esta apresenta alta capacidade de depuração de matéria orgânica e remoção de coliformes totais e *E. coli*;
2. Verificou-se a eficiência do tanque de microalgas na remoção dos elementos NT e PT;
3. O efluente final é composto por elementos de importância agrícola como: nitrogênio, fósforo, cálcio e potássio e este, juntamente com a carga de matéria orgânica e sais, enquadra-se, para estes parâmetros, nas determinações da NBR 13.969/1997 para reutilização na agricultura.

Apesar da eficácia da ETE na remoção de matéria orgânica e da significativa capacidade de remoção de coliformes totais e *E. coli*, estes não apresentam resultados satisfatórios que possibilitam a utilização do efluente sem o tratamento terciário, sendo que para este caso pode ser utilizado a desinfecção através de hipoclorito de sódio.

Verificou-se, também, que a utilização do tanque de microalgas é desnecessária para a reutilização na agricultura deste resíduo, sendo mais indicado para lançamento em corpos hídricos atuando na mitigação das ocorrências de eutrofização.

No tocante a remoção de matéria orgânica, neste projeto o Filtro Anaeróbico de Fluxo Ascendente pode ser dispensado já que as manutenções mostraram-se muito complexas e seu poder de depuração não é tão significativo.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Algodão Colorido – EMBRAPA. **algodão desenvolve projeto de reúso de água na agricultura no interior da Paraíba.** Disponível em: <<http://agencia.fapesp.br/1519>> Acesso dia 01/11/12.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 21º ed. 2005.

ARAÚJO, I. S.; OLIVEIRA, J. R. L.; ALVES, R. G. C. M.; FILHO, P. B.; COSTA, R. H. R. **Avaliação de sistema de tratamento de dejetos suínos instalado no Estado de Santa Catarina.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, V. 16, p. 745-753. 2012.

ASANO, T.; MAEDA, M.; TAKAKI, M. **Wastewater reclamation and reuse in Japan: overview and implementation examples.** Water Science and Technology, Amsterdam, v. 34, p. 219-226. 1996.

BASTOS, R. G.; QUEIROZ, M.I.; ALMEIDA, T.L.; BENERI, R.L.; ALMEIDA, R.V. & PADILHA, M. **Remoção de nitrogênio e matéria orgânica do efluente da parboilização do arroz por *Aphanothece microscopica Nägeli* na ausência de luminosidade.** Revista da Engenharia Sanitária e Ambiental, V. 9 (2), p. 112-116. 2004.

BASTOS, R. G.; QUEIROZ, M. I.; ZEPKA, L. Q.; VOLPATO, G.; GARCIA, M. S.; JACOB-LOPES, E. **COD Removal of parboilized rice wastewater by cyanobacteria.** Brazilian Journal of Biosystems Engineering (Bioeng), v. 3, n.3, p.245-250. 2009.

BASTOS, R. G.; SEVERO, M.; VOLPATO, G.; JACOB-LOPES, E.; ZEPKA, L. Q.; QUEIROZ, M. I. **Bioconversão do nitrogênio do efluente da parboilização do arroz por incorporação em biomassa da cianobactéria *Aphanothece microscopica Nägeli*.** Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 5, n.3, p.258-264. 2010.

BENETTI, A. D. **Reúso de águas residuárias na agricultura, cenário atual e desafios a serem enfrentados.** In: II Simpósio Nacional de sobre o reúso de água na agricultura. Universidade de Passo Fundo, 27 a 30 de Março de 2006.

BERNARDI, C. C. **Reúso de água para irrigação.** Pós-graduação, Especialização Latu-sensu MBA. ISEA-FGV/ ECOBUSINESS SCHOOL, 2003.

BLUMENTHAL, U. J.; MARA, D. D.; PEASEY, A.; RUIZ-PALACIO; STOTT, G. **Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines.** Bulletin of the World Health Organization, n.78, v.9, p.1104-116. 2000.

BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A.V.; DYNIA, J. F. **Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto.** Pesq. agropec. bras.vol.37, n.11, pp. 1639-1647. 2002.

BONINI, A. M. **Cultivo heterotrófico de *Aphanothece microscopica Nüegeli* e *Chlorella vulgaris* em diferentes fontes de carbono e em vinhaça.** UFSCar, 2012. 112p. Dissertação de Mestrado.

CALHEIROS, C. S. C.; TEIXEIRA, A.; PIRES, C.; FRANCO, A. R.; DUQUE, A. F.; CRISPIM, L. F. C.; MOURA, S. C.; CASTRO, P. M. L. **Bacterial community dynamics in horizontal flow constructed wetlands with different plants for high salinity industrial wastewater polishing.** Microbial ecology of drinking water and waste water treatment processes. Volume 44, Issue 17, Pages 4825-5116, September 2010.

CICEK, N. **A review of membrane bioreactors and their potential application in the treatment of agricultural wastewater.** Canadian Biosystem Engeneering, 2003. Disponível online em: <<http://www.aseanenvironment.info/Abstract/41015019.pdf>> Acessado em 05 de Março de 2012.

BLUM, J. R. C. **Critérios e padrões de qualidade da água.** In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos.; PHILIPPI JR, A. (Coord.) Reúso de Água. Barueri, SP: Manole, 2003. p.125-174. ISBN 85-204-1450-8.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS - CNRH. Resolução Nº 54, de 28 de Novembro de 2005. **Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências.** Presidente: Marina Silva. Disponível em: <[http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=37&tmpl=component&format=raw&Itemid=](http://www.cnrh.gov.br/sitio/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=37&tmpl=component&format=raw&Itemid=)> Acessado em 05 de Março de 2012.

DO MONTE, M. H. F. M., SOUSA, M. S. **Effects on crop of Irrigation with Facultative Pond Effluent.** Water Science and Technology. Vol 26 (7-8), p.1603-1613. 1992.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412p, 1999.

FRISO, C., JUNIOR, W. C. S., URRUCHI, W. **Uso eficiente de água no aeroporto internacional de Guarulhos/SP**. Projeto HIDROAER, ITA, 2010. Disponível online em: <<http://www.bibl.ita.br/xiiiencita/INFRA01.pdf>> Acesso dia 02/11/11.

HENRIQUE, I. N. **Tratamento de água residuária doméstica e sua utilização na agricultura**. Campina Grande: UFCG. 2006. 123p. Dissertação de Mestrado.

HESPANHOL, I. **Potencial de Reúso de Água no Brasil: Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos**. Rev. Bras. Rec. Hid., Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

HESPANHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria e recarga de aquíferos**. In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. dos. (Ed.). Reúso de água. Barueri: Manole, 2003. p. 37-96.

HURSSAR, J. G., PARADELA, A. L., BASTOS, M. C., REIS, T.K.B., JONAS, T. C., SERRA, W., GOMES, J. P. **Efeito do uso de efluente de reator anaeróbio compartimentado na fertirrigação da beterraba**. Engenharia ambiental – Espírito Santo do Pinhal, v. 2, n. 1, p. 035-045, jan/dez. 2005.

JACOB-LOPES, E.; ZEPKA, L. Q. ; QUEIROZ, M. I. E NETTO, F. M. **Protein characterization of the *Aphanothece microscopica* Nägeli cyanobacterium cultivated in parboiled rice effluent**. Ciência & Tecnologia de Alimentos, V. 26 (2), p.482-488. 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 201 f. 1989.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos. **A escassez e o reúso de água em âmbito mundial**. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos.; PHILIPPI JR, A. (Coord.) Reúso de Água. Barueri, SP: Manole. ISBN 85-204-1450-8. 2003

MARTÍNEZ, M. E.; SANCHÉZ, S.; JIMÉNEZ, J. M.; YOUSFI, F. EL.; MUNÓZ, L. **Nitrogen and phosphorus removal from urban wastewater and by the microalga *Scenedesmus obliquus***. *Bioresource Technology*. v.73, p.263-272. 2000.

MELO, A. A. **O uso de água residuária e composto orgânico no cultivo do algodão a partir de uma visão socioambiental**. Campina Grande: UFCG. 2011. 90p. Dissertação de Mestrado.

ORON, G., CAMPOS, C., GILLERMAN, L., SALGOT, M. **Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities**. *Agricultural Water Management* . v.38, n. 1, p.223-234. 1999.

POSTEL, S.; VICKERS, A. **Incrementando a produtividade hídrica**. In: HALWEIL, B.; MASTNY, L. *Estado do mundo, 2004: estado do consumo e o consumo sustentável*. Salvador. v.1, p. 55-78. 2004.

PULSCHEN, A. A.; GOMES, M. P. M.; URBANO, V. R.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. **Tratamento biológico de efluentes sanitários em E.T.E. mista**. In: III Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais de 12 a 15 de março de 2013.

QUEIROZ, M. I., BASTOS, R. G., BENERI, R. L. & ALMEIDA, R.V. **Evaluación del crecimiento de la *Aphanothece microscopica Nägele* en las aguas residuales de la parbolización del arroz**. *Revista Información Tecnológica*, Chile, V. 13 (1). p. 61-65. 2002.

QUEIROZ, M. I.; KOETZ, P. R.; TREPTOW, R. O. **The *Nagele microscocal Aphanothece* potential in the production of the single-cell protein from the remaining water**. In: CHAMES, S.W., CÁNOVAS-BARBOSA, G.V.; AGUILERA, J.M. (Ed.) *Proceedings of the eighth International Congress on Engineering and Food (ICEF 8)*, Pennsylvania, USA, p. 2027-2031. 2001.

QUEIROZ, M. I.; LOPES, E. J.; ZEPKA, L. Q.; BASTOS, R. G.; GOLDBECK, R. **The kinetics of the removal of nitrogen and organic matter from parboiled rice effluent by cyanobacteria in a stirred batch reactor**. *Bioresource Technology*, V. 98 (11), p.2163-2169. 2007.

REGO, J. L., de OLIVEIRA, E. L. L., CHAVES, A. F., ARAÚJO, A. P. B., BEZERRA, F. M. L., SANTOS, A. B., MOTA, S. **Uso de esgoto doméstico tratado na irrigação da**

**cultura da melancia.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, p.155-159, 2005.

RIBAS, T. B. C; FORTES NETO, P. **Avaliação do desempenho da estação de tratamento de esgoto compacta por leito de raízes implantada no município de Jacareí/SP.** In: Congresso de Saúde e Qualidade de Vida do Cone Leste Paulista, v.4, São José dos Campos. Anais. São José dos Campos: UNIVAP, 2006.

RIPKA, R.; DERUELLES, J.; WATERBURY, J. B.; HERDMAN, M.; STANIER, R. Y. **Assignments Strain Histories and Properties of Pure Cultures of Cyanobacteria.** Journal of General Microbiology, v.111, p. 1-61. 1979.

SANDRI, D., MATSURA, E. E., TESTEZLAF, R. **Teores de nutrientes na alface irrigada com água residuária aplicada por sistemas de irrigação.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v.26, n.1, p.45-57, jan./abr. 2006.

SANT'ANNA JR., G. L. **Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações.** 1. ed. Rio de Janeiro. 398p. 2010.

SANTOS, S. R; PEREIRA, G. M. **Comportamento da alface tipo americana sob diferentes tensões da água no solo, em ambiente protegido.** Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.3, p.569-577, set/dez. 2004.

SHARMA, L.; MALLICK, N. **Accumulation of poly-b-hydroxybutyrate in *Nostoc muscorum*: regulation by pH, light-dark cycles, N and P status and carbon sources.** Bioresource Technology, v. 96, p. 1304-1310. 2005.

TRENTIN, C. V. **Diagnóstico voltado ao planejamento do uso de águas residuárias para irrigação, nos cinturões verdes da região metropolitana de Curitiba-PR.** Curitiba: UFPR, 2005. 112p. Dissertação de Mestrado.

TSUTIYA, M. T. **Uso agrícola dos efluentes das lagoas de estabilização do estado de São Paulo.** 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001. ABES Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **Water Recycling and reuse: The environmental benefits.** United States. Disponível na internet em:<<http://www.epa.gov/region9/water/recycling/>>. Acessado em 06 de Novembro de 2012.

VALENTIN, M. A. A. **Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado.** Campinas: UNICAMP, 1999. 137p. Dissertação de Mestrado.

ZANELLA, L. **Plantas ornamentais no pós-tratamento de efluentes sanitários: wetlands-construídos utilizando brita e bambu como suporte.** Campinas: UNICAMP, 2008. 219p. Tese de Doutorado.

XIN, L.; HONG-YING, H.; KE, G.; JIA, Y. **Growt and nutrient removal properties of a freshwater microalga Scenedesmus sp. LX1 under different kinds of nitrogen souces.** Ecological Engineering. v.36, p.379-381. 2010.