



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E  
URBANISMO**

# **Irrigação de eucalipto com efluente sanitário de lagoa facultativa: eficiência do sistema solo- planta no pós-tratamento**

**Alex Henrique Veronez**

**Campinas  
2009**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**Alex Henrique Veronez**

**Irrigação de eucalipto com efluente sanitário de lagoa facultativa:  
eficiência do sistema solo-planta no pós-tratamento**

Dissertação apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na Área de Concentração de Saneamento e Ambiente.

**Orientador: Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho**

**Co-orientador: Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti**

**Campinas**

**2009**

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

V599i Veronez, A.H.  
Irrigação de eucalipto com efluente sanitário de lagoa facultativa: eficiência do sistema solo-planta no pós-tratamento / Alex Henrique Veronez. --Campinas, SP: [s.n.], 2009.

Orientadores: Bruno Coraucci Filho, Ronaldo Stefanutti.

Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Eucalipto - Irrigação. I. Coraucci Filho, Bruno. II. Stefanutti, Ronaldo. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

Título em Inglês: Irrigation eucalyptus with sanitary sewage pond: efficiency of soil-plant system post-treatment

Palavras-chave em Inglês: Irrigation - Eucalyptus

Área de concentração: Saneamento e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: José Roberto Guimarães, Zigomar Menezes de Souza

Data da defesa: 31/08/2009

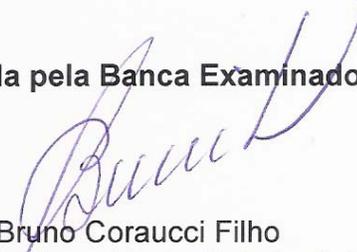
Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

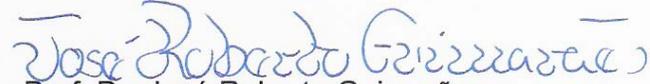
**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

**Alex Henrique Veronez**

**Irrigação de eucalipto com efluente sanitário de lagoa facultativa:  
eficiência do sistema solo-planta no pós-tratamento**

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

  
Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho  
Presidente e Orientador / Universidade Estadual de Campinas

  
Prof. Dr. José Roberto Guimarães  
Universidade Estadual de Campinas

  
Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza  
Universidade Estadual de Campinas

Campinas, 31 de agosto de 2009.

## **Dedicatória**

*A minha família e a minha namorada Stefânia Brocaneli*

## **Agradecimentos**

A Deus, por tudo;

Ao Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho, pela orientação, dedicação, apoio e, pelos ensinamentos;

Ao Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti, pela co-orientação, dedicação, apoio e, pelos ensinamentos;

A minha família e a minha namorada Stefânia Brocaneli, pelo apoio e por estar sempre ao meu lado em todos os momentos da minha vida;

À FINEP e ao PROSAB (Programa de Pesquisas em Saneamento Básico) pelos recursos empregados na pesquisa;

Ao Colégio Prof. Carmelino Correa Junior, por ceder a área para a pesquisa;

Ao amigo César Roberto Guimarães, diretor do colégio Prof. Carmelino Correa Junior, pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa, disponibilização de recursos de infraestrutura básica, pessoal, etc;

A Dra. Edna Ivani Bertoncini da APTA Regional de Piracicaba, pela contribuição na estruturação do projeto;

À SABESP, Unidade Pardo/Grande com sede em Franca-SP, na pessoa do seu superintendente João Baptista Comparini, pela disponibilização do efluente da ETE City Petrópolis, pelo apoio logístico e Laboratorial;

Ao laboratório de solos da FEAGRI/UNICAMP, pelo apoio técnico na realização das determinações físicas e ensaios de solo;

À VCP - Votorantim Celulose e Papel, Unidade Florestal SP (Capão Bonito/viveiro de mudas ) por ceder as mudas clonadas para instalação da pesquisa;

Ao amigo Engenheiro Orlando Antunes Cintra Filho, pelo apoio e colaboração direta no trabalho;

Ao amigo Luís Antônio Salomão, pelo apoio e colaboração direta no trabalho;

À amiga Daniele Bertaco Ramirez, pelo apoio e colaboração direta no trabalho;

A todos os estagiários que passaram pela pesquisa, pelo apoio e colaboração direta no trabalho, especialmente à amiga Bethania Vieira Cavalheiro, que esteve conosco no experimento desde o início da pesquisa;

Ao Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza e a sua equipe pela colaboração direta no trabalho;

À amiga Lucinda Maria de Fátima Rodrigues Coelho, pelo apoio e colaboração no desenvolvimento do tratamento estatístico do trabalho;

À amiga Maeli Helena de Souza, pelo apoio e colaboração na compilação dos resultados;

A todos os funcionários do laboratório de Controle Sanitário da Sabesp de Franca;

Ao amigo Eng. Luciano Reami pela colaboração;

Ao amigo Eng. Antonio Sergio Spolaor pela colaboração;

Ao amigo Wanderlei Pim pela colaboração;

Aos bolsistas do laboratório de Reuso, Luccas Erickson de Oliveira Marinho e Giuliano Gabrielli, pela colaboração;

Ao amigo Márcio Fernando Silveira Rodrigues pela colaboração.

“A ciência está longe de conhecer o mundo de uma maneira perfeita e adequada; ela tem, no entanto, a pretensão legítima de descobrir para nós, em parte, a natureza e as suas leis”

Jovielt

## Resumo

VERONEZ, A. H. **Irrigação de eucalipto com efluente sanitário de lagoa facultativa: eficiência do sistema solo-planta no pós-tratamento.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP, 2009. 129p. Dissertação (Mestrado), 2009.

O uso de efluente sanitário tratado na agricultura, como fonte de água e nutrientes, é uma alternativa à eventual necessidade de um pós-tratamento e ao lançamento em corpos d'água. O trabalho experimental foi desenvolvido na UGRHI 08 (Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos Sapucaí/Grande), no município de Franca-SP, e teve a finalidade de avaliar a eficiência do sistema solo-planta no pós-tratamento de efluente, por meio da irrigação de cultura de eucalipto, da espécie *urograndis*, monitorando a qualidade dos lixiviados, nas profundidades de 0,30; 0,60 e 0,90 m, e, o DAP - Diâmetro à Altura do Peito da planta. Foram instaladas parcelas, constituindo 8 tratamentos, com 4 repetições cada. Dos 8 tratamentos, 2 foram irrigados com água, 5 com efluente e 1 não recebeu nenhum tipo de irrigação artificial. Quanto à adubação, 5 tratamentos receberam NPK, B e Zn; sendo 4 deles irrigados com água residuária e 1 com água natural. Os lixiviados coletados na área da pesquisa evidenciaram a presença de nitrato na maioria dos tratamentos irrigados com efluente e uma elevada eficiência na remoção de DBO e DQO. Em relação à planta, o tratamento estatístico mostrou que o desenvolvimento do DAP foi maior nos tratamentos irrigados com efluente quando comparados aos demais tratamentos. Os resultados comprovam que o pós-tratamento de efluente na cultura de eucalipto é efetivo quanto aos aspectos sanitários e agronômicos.

**PALAVRAS - CHAVE:** efluente sanitário, irrigação, cultura de eucalipto, pós-tratamento

## **Abstract**

VERONEZ, A. H. **Irrigação de eucalipto com efluente sanitário de lagoa facultativa: eficiência do sistema solo-planta no pós-tratamento.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP, 2009. 129p. Dissertação (Mestrado), 2009.

The use of treated sanitary effluent in Agriculture as water resource and nutrients is an alternative to the eventual necessity of a post treatment as also as to the launching in water bodies. The experiment was developed at UGRHI 08 (Hydrographic Unity of Hydric Resources in Sapucaí/Grande) in the city of Franca-SP. It aimed to evaluate the efficiency of the plant – ground system at the effluent post treatment, through the process of irrigation of the eucalyptus cultivation, which species is *urograndis*, monitoring the leachate quality, in the deeps of 0,30; 0,60 e 0,90m, and the DAP (Diameter at the High of the Plant Chest). Parcels were installed, forming 8 treatments, with 4 repetitions each one. From the 8 treatments, 2 were irrigated with water, 5 with effluents and 1 didn't receive any kind of artificial irrigation. Referring to the seasoning 5 treatments received NPK, B and Zn; 4 of them were irrigated with wastewater and 1 with natural water. The leachated collected in the research area showed the presence of nitrate in the most of the treatments irrigated with effluent and a high efficiency in the BOD and COD removing. In relation to the plant, the statistic treatment, showed that the DAP development was bigger in the treatments irrigated with effluents than in the other ones. The results so far prove that the post treatment of effluent in the eucalyptus cultivation is effective concerning the sanitary and agronomic aspects.

**KEY WORDS:** sanitary effluent, irrigation, eucalyptus cultivation, post-treatment.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| Figura 3.1 - Distribuição de água no planeta Terra .....   | 25            |
| Figura 3.2 - Ciclo do efluente no solo e o processo de reciclagem atmosférica das águas .....    | 30            |
| Figura 3.3 - Diagrama para classificação de água de irrigação.....                               | 40            |
| Figura 3.4 - Esquema simplificado de uma lagoa facultativa .....                                 | 50            |
| Figura 3.5 - Fluxograma típico de um sistema de lagoa facultativa.....                           | 52            |
| Figura 4.1 - Imagem aérea com a localização da área experimental .....                           | 60            |
| Figura 4.2 - Limpeza da área experimental (retirada do milho).....                               | 61            |
| Figura 4.3 - Aplicação de herbicida na área do experimento .....                                 | 61            |
| Figura 4.4 - Representação das linhas equipotenciais e sentido de fluxo da água subterrânea..... | 63            |
| Figura 4.5 - Delineamento experimental implantado .....  | 64            |
| Figura 4.6 - Abertura dos sulcos para adubação na área de plantio de eucalipto.                  | 65            |
| Figura 4.7 - Mudanças de eucalipto utilizadas na pesquisa.....                                   | 66            |
| Figura 4.8 - Plantio de eucalipto na área experimental .....                                     | 67            |
| Figura 4.9 - Poço de monitoramento de água subterrânea instalado no experimento .....            | 68            |
| Figura 4.10 - Croqui do sistema de irrigação implantado na área experimental ...                 | 70            |
| Figura 4.11 - Reservatórios de água e efluente implantados na pesquisa.....                      | 70            |
| Figura 4.12 - Esquema dos coletores de drenagem.....   | 71            |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 4.13 - Instalação de um coletor no experimento. Colégio Agrícola, Franca/SP<br>.....   | 72  |
| Figura 4.14 - Curva de retenção de água do solo para profundidade de 0,00 a 0,20 m.<br>.....  | 78  |
| Figura 4.15 - Curva de retenção de água do solo para profundidade de 0,60 a 0,80 m.<br>.....  | 78  |
| Figura 4.16 – Pluviômetro instalado próximo à área experimental.....  | 79  |
| Figura 4.17 - Tensiômetro instalado na área experimental .....  | 81  |
| Figura 4.18 - Vista da ETE City Petrópolis, Franca-SP, operada pela SABESP ...  | 82  |
| Figura 4.19 - Represa utilizada como fonte de água limpa .....  | 83  |
| Figura 4.20 - Medição do DAP do caule do eucalipto .....  | 88  |
| Figura 4.21 - Coleta do percolado armazenado no coletor de drenagem livre .....   | 89  |
| Figura 5.1 - Gráficos Box-Plot do desenvolvimento do DAP do eucalipto em todos os<br>tratamentos, durante os meses de monitoramento .....                   | 93  |
| Figura 5.2 - Gráficos Box-Plot do desenvolvimento das plantas, nos diferentes<br>tratamentos, durante o período de monitoramento .....                      | 94  |
| Figura 5.3 - Concentração média de coliformes totais do esgoto aplicado e dos<br>percolados retirados dos coletores, nas 3ª e 4ª campanhas de monitoramento | 104 |
| Figura 5.4 - Percentagem dos resultados de nitrato acima de 10 mg L <sup>-1</sup> nos coletores de<br>drenagem livre .....                                  | 108 |

## LISTA DE TABELAS

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| Tabela 3.1 - Comparação qualitativa das águas residuais dos sistemas de disposição no solo.....   | 33            |
| Tabela 3.2 - Produtividade de culturas irrigadas com esgotos sanitários ( $t\ ha^{-1}$ )  | 36            |
| Tabela 3.3 - Concentrações máximas permitidas nos efluentes líquidos provenientes de estações de tratamento de esgoto doméstico, para aplicação em culturas. ...                                  | 47            |
| Tabela 3.4 - Valores microbiológicos para uso de esgoto doméstico tratado na aplicação em culturas.....   | 48            |
| Tabela 3.5 - Vantagens e desvantagens do sistema de tratamento de esgoto por lagoa facultativa .....  | 51            |
| Tabela 3.6 - Eficiência das lagoas facultativas primárias .....   | 52            |
| Tabela 3.7 - Quantidade de água necessária durante um ano .....   | 54            |
| Tabela 3.8 - Comparação entre o consumo de água e a produção de biomassa do eucalipto e outras culturas .....   | 54            |
| Tabela 3.9 - Crescimento médio das árvores de eucaliptos, plantados em 1998, com e sem resíduos de colheita e/ou adição de resíduo celulósico, em solo de textura média, em Mogi Guaçu - SP. .... | 55            |
| Tabela 4.1 - Resultados das perfurações de sondagem .....   | 62            |
| Tabela 4.2 - Formas de irrigação e adubação dos tratamentos implantados .....   | 64            |
| Tabela 4.3 - Resultados das análises de fertilidade do solo e metais em amostras na área experimental. ....   | 73            |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 4.4 - Resultados das análises granulométricas de amostras de solo .....  | 74  |
| Tabela 4.5 - Resultados da porosidade e da densidade solo.....  | 75  |
| Tabela 4.6 - Resultados da densidade do solo .....  | 76  |
| Tabela 4.7 – Resultados da determinação da capacidade de retenção de água no solo .....   | 77  |
| Tabela 4.8 - Resumo da pluviometria e das lâminas de irrigação .....  | 80  |
| Tabela 4.9 - Resumo das características da água da represa .....  | 84  |
| Tabela 4.10 - Resumo das características do afluente da ETE City Petrópolis ....  | 85  |
| Tabela 4.11 - Resumo das características do efluente da ETE City Petrópolis ....  | 86  |
| Tabela 5.1 - Síntese dos resultados da estatística descritiva do DAP .....  | 92  |
| Tabela 5.2 - Análise de variância pelo método Kruskal-Wallis (5 %) .....  | 96  |
| Tabela 5.3 - Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ ) das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas quatro campanhas de monitoramento .....                  | 100 |
| Tabela 5.4 - Demanda química de oxigênio ( $\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ ) das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas quatro campanhas de monitoramento .....                     | 101 |
| Tabela 5.5 - Concentração de sólidos totais ( $\text{mg L}^{-1}$ ) das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas quatro campanhas de monitoramento .....                           | 103 |
| Tabela 5.6 - Concentração de <i>E. Coli</i> (NMP/100 mL) das amostras extraídas dos coletores de drenagem em duas campanhas de monitoramento.....   | 105 |
| Tabela 5.7 - Concentração média e amplitude dos valores de nitrato ( $\text{mg L}^{-1}$ ) das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas quatro campanhas de monitoramento .....    | 107 |
| Tabela 5.8 - Concentração média e amplitude dos valores de sódio ( $\text{mg L}^{-1}$ ) das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas quatro campanhas de monitoramento .....      | 111 |
| Tabela 5.9 - Concentração média e amplitude dos valores de chumbo ( $\text{mg L}^{-1}$ ) das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas quatro campanhas de monitoramento .....     | 113 |
| Tabela 5.10 - Valores médios e amplitude da condutividade elétrica ( $\mu\text{s.cm}^{-1}$ ) das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas quatro campanhas de monitoramento ..... | 115 |

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

|                   |  |
|-------------------|--|
| $\Psi$            | Potencial matricial da água do solo                            |
| $\Psi_c$          | Potencial matricial crítico                                    |
| ABNT              | Associação Brasileira de Normas Técnicas                       |
| AD                | Água Disponível  |
| APP               | Área de Preservação Permanente                                 |
| B                 | Boro   |
| C. NTK            | Concentração de Nitrogênio Total Kjeldahl                      |
| Ca                | Cálcio   |
| CC                | Capacidade de Campo  |
| CE                | Condutividade Elétrica   |
| CETESB            | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo                     |
| Cl                | Cloro  |
| CONAMA            | Conselho Nacional de Meio Ambiente                             |
| Cr                | Cromo  |
| CTC               | Capacidade de Troca Catiônica                                  |
| Cu                | Cobre  |
| DAP               | Diâmetro à altura do peito                                     |
| DBO               | Demanda bioquímica de oxigênio                                 |
| $dS\ m^{-1}$      | deciSiemens por metro  |
| $\mu S\ cm^{-1}$  | microSiemens por metro ou centímetro                           |
| DQO               | Demanda Química de Oxigênio                                    |
| Dr                | Densidade de partícula   |
| Ds                | Densidade do solo  |
| Efluente primário | Efluente de tratamento primário, após processo de sedimentação |
| Embrapa           | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária                    |
| EPA               | Environment Protection Agency                                  |
| ETE               | Estação de Tratamento de Esgotos                               |

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Fe                              | Ferro  |
| FAO                             | Food and Agriculture Organization                                      |
| FEC                             | Faculdade de Engenharia Civil  |
| G.L.                            | Grau de liberdade  |
| GPS                             | Global Positioning System  |
| ha                              | Hectare  |
| Hg                              | Mercúrio   |
| INMETRO                         | Instituto Nacional de Metrologia, Normalização, e Qualidade Industrial |
| ISO 9001-2000                   | International Standard Organization, versão 9001, do ano de 2000       |
| K                               | Potássio   |
| Kc                              | Coeficiente de demanda hídrica da cultura                              |
| Kp                              | Coeficiente do tanque  |
| KCl                             | Cloreto de potássio  |
| L                               | Litros   |
| LDM                             | Limite de detecção do método aplicado                                  |
| Mg                              | Magnésio   |
| mE/l                            | miliequivalente por litro  |
| Mn                              | Manganês   |
| MO                              | Matéria orgânica   |
| Mo                              | Molibidênio  |
| Ms                              | Massa do solo seco a 105 a 110 °C (g)                                  |
| Na <sup>+</sup>                 | íon sódio  |
| Ca <sup>2+</sup>                | íon cálcio   |
| Mg <sup>2</sup>                 | Íon magnesio   |
| NBR                             | Normas Brasileiras   |
| NC                              | Necessidade de calcário  |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>    | Íon amônio   |
| NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> | Nitrato de amônio  |
| NH <sub>4</sub> SO <sub>4</sub> | Sulfato de amônia  |
| Ni                              | Níquel   |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>    | Nitrito  |

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | Nitrato   |
| NPK                           | Nitrogênio, Fósforo e Potássio  |
| OMS                           | Organização Mundial de Saúde  |
| ONU                           | Organização das Nações Unidas   |
| P                             | Fósforo   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Ortofosfato   |
| Pb                            | Chumbo  |
| pH                            | Potencial hidrogeniônico  |
| PM                            | Ponto de Murcha Permanente  |
| PROSAB                        | Programa de Pesquisas em Saneamento Básico  |
| PVC                           | Poli cloreto de vinila  |
| RAS                           | Razão de Adsorção de Sódio  |
| S                             | Enxofre   |
| Sabesp                        | Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo                             |
| UA                            | Umidade Atual   |
| UC                            | Umidade Crítica   |
| UGRHI                         | Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo |
| UnB                           | Universidade de Brasília  |
| Unicamp                       | Universidade Estadual de Campinas   |
| USDA                          | United States Department of Agriculture   |
| USP                           | Universidade de São Paulo   |
| UTM                           | Universal Transverse Mercator – sistema de coordenadas                            |
| WHO                           | Water Health Organization   |
| Zn                            | Zinco   |

## SUMÁRIO

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| 1. INTRODUÇÃO .....  | 19            |
| 2. OBJETIVOS .....   | 23            |
| 2.1 Objetivo Geral .....   | 23            |
| 2.2 Objetivos Específicos.....   | 23            |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....   | 25            |
| 3.1 Reuso da Água .....  | 25            |
| 3.2 Disposição de Efluentes no Solo .....                              | 28            |
| 3.2.1 Sistemas de tratamento de efluentes no solo .....                | 31            |
| 3.2.2 Desempenho dos sistemas de tratamento de efluentes no solo ..... | 33            |
| 3.2.3 Impactos do tratamento de efluentes no solo.....                 | 36            |
| 3.3 Irrigação .....  | 42            |
| 3.3.1 Quantidade de água necessária .....                              | 44            |
| 3.3.2 Qualidade da água para irrigação .....                           | 46            |
| 3.4 Lagoas de Estabilização .....                                      | 49            |
| 3.5 Cultura de Eucalipto .....   | 53            |
| 3.6 Diretrizes e Padrões .....   | 56            |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS.....   | 59            |
| 4.1 Localização do Experimento.....                                    | 59            |
| 4.2 Instalação da Pesquisa.....  | 60            |
| 4.2.1 Limpeza da área e controle de formigas .....                     | 60            |

|  |     |
|--|-----|
| 4.2.2 Delineamento experimental.....   | 62  |
| 4.2.3 Adubação e plantio.....  | 65  |
| 4.2.4 Instalação dos poços de monitoramento da água subterrânea.....               | 67  |
| 4.2.5 Sistema de irrigação.....  | 68  |
| 4.2.6 Instalação dos coletores de drenagem livre.....                              | 71  |
| 4.3 Caracterização e Capacidade de Retenção de Água do Solo.....                   | 73  |
| 4.4 Irrigação e Precipitações Pluviométricas.....                                  | 79  |
| 4.5 Caracterização dos Afluentes, Efluentes e da Água Utilizados na Irrigação..... | 81  |
| 4.6 Monitoramento do DAP.....  | 87  |
| 4.7 Monitoramento dos Lixiviados.....  | 88  |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....   | 91  |
| 5.1 Avaliação do DAP.....  | 91  |
| 5.2 Análise dos Lixiviados dos Coletores de Drenagem Livre.....                    | 98  |
| 5.2.1 DBO e DQO.....   | 99  |
| 5.2.2 Sólidos Totais.....  | 102 |
| 5.2.3 Coliformes Totais e <i>E. Coli</i> .....                                     | 103 |
| 5.2.4 Nitrato.....   | 106 |
| 5.2.5 Metais.....  | 110 |
| 5.2.6 Condutividade Elétrica.....  | 114 |
| 5.2.7 pH.....  | 116 |
| 6. CONCLUSÕES.....   | 117 |
| 7. RECOMENDAÇÕES.....  | 119 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 121 |
| 9. APÊNDICE.....   | 129 |

## 1. INTRODUÇÃO

Parte da população mundial deverá enfrentar sérios problemas relacionados à escassez de quantidade e qualidade de água num futuro próximo. Nesse sentido, o tratamento dos esgotos e o seu posterior reuso, tornou-se uma alternativa viável para a irrigação, atividade que utiliza em torno de 70 % de toda a água consumida no planeta.

No Brasil, as lagoas de estabilização são bastante utilizadas como sistema de tratamento de efluentes sanitários, devido às condições ambientais do país e também ao seu baixo custo de implantação, operação e manutenção. Porém, verifica-se, em alguns casos, a dificuldade de atendimento a padrões mais restritivos de lançamento, sendo necessário adotar sistemas de pós-tratamento dos efluentes.

O pós-tratamento por meio do reuso de efluentes sanitários na irrigação de culturas agrícolas deve atender a duas premissas básicas: a sanitária que tem por finalidade a depuração do esgoto sem que ocorra a contaminação do ambiente e a agronômica que visa ao aproveitamento pela planta da água e dos nutrientes presentes no efluente. No Brasil, existem poucas referências de legislação, normas e diretrizes a respeito da utilização de efluentes, na forma de reuso na agricultura.

O tratamento de efluentes no solo, como ocorre na autodepuração dos corpos d'água e nos demais sistemas de tratamento, compreende processos físicos, químicos

e biológicos de remoção da carga poluente. O processo inicia-se no momento do lançamento do efluente no solo e prossegue durante a percolação do esgoto ao longo do perfil do mesmo. Assim, o solo e os microrganismos removem a carga poluidora, enquanto a vegetação retira do solo os nutrientes provenientes dos esgotos, evitando concentrações excessivas e inconvenientes desses elementos. Dessa forma, a disposição de efluentes no solo além de ser uma alternativa viável tecnicamente, atuando na remoção da carga poluidora, também se torna interessante economicamente, pois possibilita a redução do uso de fertilizantes.

No entanto, para que o sistema de irrigação tenha um bom desempenho, no que tange ao tratamento do efluente e à produtividade, alguns cuidados com relação à implantação e à operação do sistema devem ser observados, tais como: características do solo com relação à capacidade de drenagem para evitar a sua salinização, deve-se manter aeração necessária para as reações bioquímicas que ocorrem com a degradação da carga orgânica do resíduo e a aplicação de uma lâmina hídrica adequada. Tal processo visa um bom desempenho da planta na zona radicular e mantém as condições necessárias para a depuração do esgoto e para o desenvolvimento da planta.

Em razão dos cuidados supracitados, faz-se necessário escolher plantas adequadas para a irrigação com efluente, assim como dimensionar o projeto de irrigação, de modo a manter condições sanitárias mínimas, reduzindo, assim, o risco de contaminação do ambiente.

Nesse contexto, a cultura de eucalipto apresenta boas condições para irrigação com esgotos sanitários, pois apesar das escassas informações na literatura, relacionadas às respostas da planta ao fornecimento de água ou efluentes, a produtividade do eucalipto aumenta em locais com maiores índices pluviométricos e menores déficits hídricos. O cultivo do eucalipto é bastante simples e requer pouca mão-de-obra, sendo assim a exposição de trabalhadores é minimizada, reduzindo os riscos à saúde humana provenientes do reuso. Outro aspecto positivo é o fato da

cultura de eucalipto estar em plena expansão no Brasil, principalmente no estado de São Paulo.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do sistema solo-planta no pós-tratamento de efluentes sanitário, por meio da irrigação de cultura de eucalipto, analisando alternativas tecnológicas, possíveis para consolidação de parâmetros de projeto e viabilidade econômica. Neste sentido, buscaram-se respostas às seguintes hipóteses:

1 - Se o sistema solo-planta é eficiente na remoção dos poluentes presentes no efluente;

2 – Se a aplicação de efluente aumenta a produtividade da planta.

Esta pesquisa faz parte de uma rede de projetos de editais do RECOOP/REENGE/PROSAB, projetos temáticos, tema 2, apoiados pela FINEP-FNDCT, CNPq e CEF, com a participação de diversas universidades brasileiras, de cujos editais a FEC/UNICAMP participou. O experimento em questão conta com vários outros pesquisadores, desenvolvendo Dissertações de Mestrado e Teses de Doutorado, contemplando além dos objetivos da presente pesquisa, conduzida pelo autor, a avaliação econômica da produtividade da planta, o monitoramento da qualidade da água subterrânea, a avaliação da toxicidade da água percolada, bem como o estudo do impacto ambiental da pesquisa na área experimental.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral do estudo foi avaliar a eficiência do sistema solo-planta no pós-tratamento de efluente, proveniente de lagoa facultativa, por meio da irrigação de cultura de eucalipto, verificando o nível de tratamento que o sistema realiza no efluente no decorrer do perfil do solo, conciliando os critérios e padrões de projeto da Engenharia Sanitária e da Engenharia Agrônômica.

### **2.2 Objetivos Específicos**

A pesquisa teve como objetivos específicos:

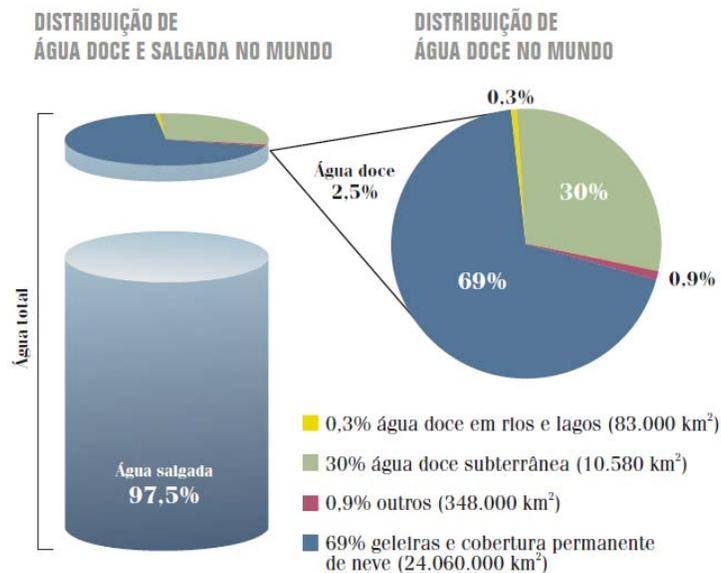
1. Avaliar o desempenho do pós-tratamento do efluente no sistema solo-planta, por meio do monitoramento da qualidade dos lixiviados, coletados nas profundidades de 0,30; 0,60 e 0,90 m;

2. Aplicação de taxas hidráulicas, com água limpa e efluente sanitário, de acordo com os propósitos da irrigação e seu efeito no solo;
3. Avaliar o desenvolvimento do eucalipto, por meio do monitoramento do DAP (diâmetro à altura do peito);
4. Analisar a legislação pertinente ao reuso, incluindo contribuições para futuras elaborações de normas e critérios na agricultura.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Reuso da Água

De acordo com a ANA (2009), 97,5% da água do planeta é salgada, proveniente dos oceanos e mares, e apenas 2,5% correspondem à água doce, que se encontra nos rios, lagos, gelo das calotas polares, aquíferos subterrâneos, dentre outros locais, como a atmosfera. Na Figura 3.1 pode ser observado como é distribuída a água no planeta Terra.



**Figura 3.1 - Distribuição de água no planeta Terra**  
(Fonte: REBOUÇAS, 2009)

A disponibilidade hídrica superficial do Brasil é mal distribuída, pois o país conta com aproximadamente 12 % da água doce superficial do mundo, porém, em torno de 80 % desse total encontra-se na região Amazônica, local que possui baixa densidade populacional. Em contrapartida, a região mais populosa, o Sudeste, conta com apenas de 6% dessa disponibilidade (ANA, 2009).

Segundo a FIESP (2009), no estado de São Paulo, já existem regiões com graves problemas de escassez e de poluição, resultando em conflitos entre os diversos tipos de usuários (agrícolas, urbanos, de navegação, de geração de energia, industriais e de abastecimento público).

Conforme a USEPA (2004), já existem, ao redor do mundo, muitas comunidades que estão se aproximando ou já alcançaram seus limites de suprimento de água disponível. Nesse cenário, o reuso da água pode representar uma alternativa para a mitigação dos problemas de escassez.

Reutilizar águas residuárias não é novidade, já que isso vem ocorrendo no mundo há muito tempo. Existem registros de que na Grécia Antiga já se utilizavam os esgotos sanitários na irrigação de culturas. A racionalização dos recursos hídricos deve ser abordada de forma global, considerando o uso eficiente da água que compreende também o controle de perdas, desperdícios e a minimização da produção de efluentes (CETESB, 2008).

Com a reutilização da água é possível liberar as fontes de boa qualidade para abastecimento público e outros usos prioritários. Além disso, o uso de esgotos contribui para a conservação dos recursos e acrescenta uma dimensão econômica ao planejamento dos recursos hídricos.

A prática do reuso, atualmente muito discutida, posta em evidência e já utilizada em alguns países é baseada no conceito de substituição de mananciais. Tal substituição é possível em função da qualidade requerida para um uso específico. Dessa forma, grandes volumes de água potável podem ser poupados pelo reuso

quando se utiliza água de qualidade inferior (geralmente efluentes pós-tratados) para atendimento das finalidades que podem prescindir desse recurso dentro dos padrões de potabilidade.

Segundo a CETESB (2008) a reutilização de água pode ser direta ou indireta, decorrentes de ações planejadas ou não:

- **Reuso indireto não planejado da água:** ocorre quando a água, utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Caminhando até o ponto de captação para o novo usuário, a mesma está sujeita às ações naturais do ciclo hidrológico (diluição e autodepuração).
- **Reuso indireto planejado da água:** ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para serem utilizados a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico. O reuso indireto planejado da água pressupõe que exista também um controle sobre as eventuais novas descargas de efluentes no caminho, garantindo assim que o efluente tratado estará sujeito apenas a misturas com outros efluentes que também atendam ao requisito de qualidade do reuso objetivado.
- **Reuso direto planejado das águas:** ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso, não sendo descarregados no meio ambiente. É o caso com maior ocorrência, destinando-se a uso em indústria ou à irrigação.

Dentre os possíveis usos da água reciclada podem-se destacar entre outros (CETESB, 2008):

- Irrigação paisagística: parques, cemitérios, campos de golfe, faixas de domínio de auto-estradas, campus universitários, cinturões verdes e gramados residenciais;

- Irrigação de campos para cultivos: plantio de forrageiras, plantas fibrosas e de grãos, plantas alimentícias, viveiros de plantas ornamentais e proteção contra geadas;
- Usos industriais: refrigeração, alimentação de caldeiras e água de processamento;
- Recarga de aquíferos: recarga de aquíferos potáveis, controle de intrusão marinha e controle de recalques de subsolo;
- 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;
- Finalidades ambientais: aumento de vazão em cursos de água, aplicação em pântanos, terras alagadas e indústrias de pesca;
- Usos diversos: aquicultura, construções, controle de poeira e dessedentação de animais.

Diante da escassez de água em quantidade e qualidade em algumas regiões do mundo, o reuso de águas residuárias tem um papel fundamental no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos, como um substituto para o uso de águas destinadas a fins agrícolas, industriais, entre outros. Nesse contexto, a agricultura, setor que utiliza a maior quantidade de água, é um potencial usuário para o efluente, e a cultura de eucalipto apresenta condições favoráveis para sua aplicação.

### **3.2 Disposição de Efluentes no Solo**

A disposição de efluentes no solo é um processo natural de realizar o tratamento de efluentes. Atualmente essa tecnologia já se disseminou em grande parte mundo e vem sendo estudada e aprimorada por meio de diversas pesquisas voltadas a aperfeiçoar o processo. Os sistemas podem funcionar como forma de disposição final ou tratamento, podendo também ser realizado ambos.

De acordo com SOUZA (2004) a falta de uma gestão adequada dos recursos hídricos e a incipiência no desenvolvimento de tecnologias, para a obtenção de novas fontes de fornecimento de água, prejudicarão a produção de alimentos, atividade que demanda enorme quantidade de água. Isso se deve ao fato de que o incremento da produção não pode mais ser absorvido apenas pela expansão da área cultivada, pois com algumas exceções as terras aráveis tendem a ficar mais limitadas.

Segundo AYERS & WESTCOT (1991) a agricultura utiliza a maior quantidade de água e pode tolerar águas de qualidade mais baixa que a indústria e o uso doméstico. É, portanto, inevitável que ocorra uma tendência para encontrar na agricultura uma solução para os problemas relacionados à eliminação de efluentes. Nesse contexto a utilização de esgoto na irrigação torna-se uma fonte confiável na maioria das vezes, pois sua geração é frequente durante todo o ano e também pelo fato de conter nutrientes necessários para o desenvolvimento da planta (WHO, 2006).

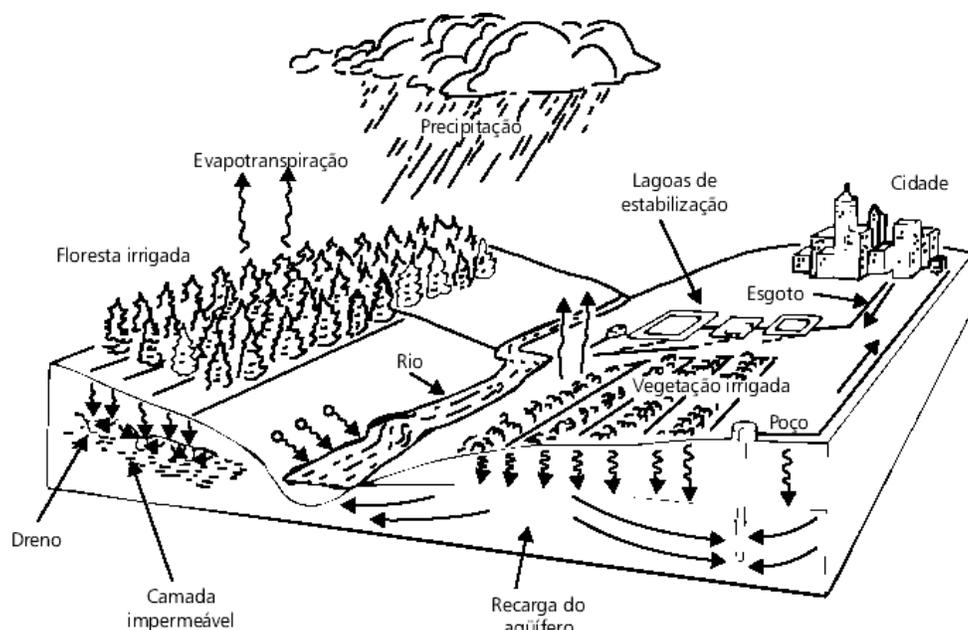
Em regiões áridas como Israel e Líbano o reuso de efluentes tem sido uma alternativa para reduzir o consumo de água na agricultura. O índice de esgoto aplicado na irrigação em Israel alcança aproximadamente 75% do volume gerado (WHO, 2006).

No Vale Mezquital (localizado no México), onde residem aproximadamente 21 milhões de habitantes e que são produzidos aproximadamente  $40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  de esgoto, os efluentes tratados estão sendo aplicados na irrigação de 85.000 hectares de culturas como milho, arroz, tomate, forragem de aveia e alfafa. Essa aplicação tem propiciado aumento na produtividade agrícola da região (LANDA et al., 1997).

O sistema de tratamento de efluentes no solo é realizado por meio de processos físicos: sedimentação, filtração, radiação, volatilização e desidratação; químicos: por meio de reações de oxidação e redução, precipitação, adsorção e troca iônica; e biológicos: absorção, biodegradação e predação. Basicamente são os mesmos processos que ocorrem em um sistema de tratamento convencional, com uma única diferença, nesse caso o sistema solo-planta é o único reator. Com a disposição do efluente no solo, o sistema solo-planta tende a estabilizar o esgoto sanitário,

protegendo os corpos d'água a jusante, além de o esgoto fornecer nutrientes para o desenvolvimento da planta (CORAUCCI FILHO et al., 1999).

Na Figura 3.2 é apresentado o ciclo do efluente no solo e o processo de reciclagem atmosférica das águas. O efluente é aplicado, parte dele é perdida na evaporação e na evapotranspiração; parte é infiltrada no solo, podendo recarregar os lençóis subterrâneos; e parte do efluente pode drenar para os mananciais superficiais.



**Figura 3.2 - Ciclo do efluente no solo e o processo de reciclagem atmosférica das águas**

(Fonte: Adaptado de USEPA, 1981)

De acordo com CORAUCCI FILHO et al. (1999), as técnicas de pós-tratamento de efluentes de estações de tratamento de esgotos sanitários, por meio da disposição controlada no solo, têm se mostrado um método eficaz e apropriado, porque apresentam uma série de vantagens, incluindo o baixo custo, os benefícios da revitalização do solo para nutrição vegetal e, principalmente, a proteção dos corpos d'água naturais e da saúde pública.

Cabe ressaltar que a aplicação de efluentes no solo não pode ser encarada de forma indiscriminada, sem critérios. Deve haver, conforme CORAUCCI FILHO (1998), um elo perfeito entre a Engenharia Sanitária e a Engenharia de Irrigação, de forma que o esgoto seja tratado no solo, evitando: a contaminação do lençol freático, a saturação em nutrientes e metais potencialmente tóxicos no solo, entre outros. Desse modo faz-se necessário selecionar plantas adequadas para destinação dos efluentes, assim como dimensionar o projeto de irrigação corretamente, de modo a manter as condições sanitárias mínimas para mitigar os impactos ao ambiente (HARUVY,1997 e VIEIRA, 1995).

### **3.2.1 Sistemas de tratamento de efluentes no solo**

Segundo KRUZIC (1997), dentre os sistemas de tratamento de efluentes no solo, podem-se destacar os seguintes métodos:

- **Infiltração Rápida:** o esgoto é infiltrado no terreno com alta velocidade, o que proporciona uma alta taxa de aplicação do efluente no solo. A vegetação existente na área não consegue absorver todo o esgoto aplicado, sendo, portanto, até dispensável em alguns casos. A disposição dos efluentes é feita por inundação, em terrenos que apresentem baixas declividades e alta permeabilidade. São necessárias camadas de solos com elevada espessura, com objetivo de proteger a qualidade da água subterrânea. Para restabelecer as condições aeróbias do solo faz-se necessário seccionar o terreno em módulos, definindo rodízios de aplicação. Segundo PAGANINI (1997), a contaminação da superfície do solo pode ser evitada por meio de um pré-tratamento do efluente por decantação primária.
- **Infiltração Lenta (Irrigação):** tem finalidade agrícola, sendo aplicado efluente sobre o solo em taxas compatíveis com o desenvolvimento da planta. Conforme ARAÚJO (1998) o termo “infiltração lenta” também é utilizado quando o esgoto é aplicado com

uma baixa taxa, apresentando lenta infiltração. Para que seja evitada a contaminação das águas subterrâneas, o esgoto deve ser aplicado em solos relativamente permeáveis e que apresentem uma espessa camada acima do lençol freático. Segundo a USEPA (1981), esse sistema atinge um elevado nível de tratamento dos efluentes. De acordo com PAGANINI (1997), o processo de infiltração lenta pode ser realizado por meio de cinco formas de aplicação:

1) Por aspersão: O efluente é conduzido por meio de tubulações pressurizadas, utilizando-se bombas ou carga hidráulica disponível, até os aspersores que realizam a dispersão dos esgotos na área a ser irrigada. É mais eficiente, pois é possível obter uma boa uniformidade na aplicação, porém, apresenta um custo elevado por necessitar de bombas (para manter a pressão elevada), aspersores e mão-de-obra qualificada. Segundo ARAÚJO (1998), a irrigação por aspersão pode gerar alguns inconvenientes, como a formação de aerossóis que podem causar problemas de saúde e o entupimento frequente dos aspersores, necessitando de um tratamento preliminar dos efluentes.

2) Por Irrigação em Sulcos e Canais: a aplicação é efetuada por gravidade e a infiltração se dá a partir de sulcos e canais por onde o esgoto escoar. Esse sistema é fácil de operar e possui um custo baixo (PAGANINI, 1997).

3) Por Inundação: o esgoto é aplicado alagando o terreno e a área de aplicação deve ser plana. O efluente é disposto numa profundidade adequada ao volume de rega, determinado por meio da escolha do solo e da vegetação. A vegetação utilizada deve ser resistente à toxicidade. Apresenta baixo custo de execução e manutenção (PAGANINI, 1997).

4) Por Gotejamento: os efluentes são aplicados por meio de tubulações com orifícios de diâmetros reduzidos, permitindo o gotejamento uniforme ao longo de toda a sua extensão, diretamente sobre o sistema radicular da planta. Esse tipo de aplicação proporciona o controle do crescimento de ervas indesejáveis e não produz aerossóis. O

sistema por gotejamento apresenta como desvantagem a possibilidade de constantes entupimentos dos furos (CINTRA, 2008).

5) Por Infiltração Subsuperficial: O efluente por meio de meios porosos ou tubulações de drenagem é aplicado abaixo do nível do terreno. A depuração dos efluentes se dá através da infiltração do mesmo no solo (ARAÚJO, 1998).

- **Escoamento Superficial:** consiste na aplicação do efluente na parte superior de um plano inclinado, com baixa permeabilidade e declividade entre 2 a 8%. Nesse sistema, os esgotos escoam até a parte inferior do plano, sendo recolhidos e conduzidos até um corpo receptor (PAGANINI, 1997).

### 3.2.2 Desempenho dos sistemas de tratamento de efluentes no solo

Na Tabela 3.1 é apresentado um resumo comparativo da qualidade esperada para o efluente final nos respectivos métodos de tratamento por disposição no solo.

**Tabela 3.1 - Comparação qualitativa das águas residuais dos sistemas de disposição no solo**

| <b>Atributo</b>                                       | <b>Infiltração Lenta</b><br>(após 1,5 m de solo) | <b>Infiltração Rápida</b><br>(após 4,5 m de solo) | <b>Escoamento Superficial</b><br>(após 45 m de escoamento) |
|---|--|---|--|
| DBO (mg L <sup>-1</sup> )                             | < 5  | < 5   | < 15   |
| SST (mg L <sup>-1</sup> )                             | < 5  | < 5   | < 20   |
| N-NH <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg L <sup>-1</sup> ) | < 5  | < 2   | < 2  |
| N-total (mg L <sup>-1</sup> )                         | < 5  | < 20  | < 5  |
| P-total (mg L <sup>-1</sup> )                         | < 0,30   | < 5   | < 6  |

Fonte: METCALF & EDDY (1991)

De acordo com estudos realizados em Limeira-SP, em uma pesquisa desenvolvida por meio da irrigação de milho com efluente de lagoa anaeróbia, utilizando sulcos de infiltração, com três lâminas, sendo de 0,20; 0,40 e 0,60 m, respectivamente, onde foram monitorados os lixiviados nas profundidades de 0,25; 0,50 e 0,75 m, através de coletores de drenagem livre, verificaram-se os seguintes resultados (SILVA, 2003):

- Em relação ao nitrato, 50% dos resultados no perfil do solo (na 2ª safra) ultrapassaram o limite de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  em N, estabelecido pela Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde que define os parâmetros de potabilidade da água. Porém, cabe ressaltar que as amostras foram monitoradas até uma profundidade de 0,75 m, dessa forma não houve como concluir que ocorreu a contaminação do lençol freático. O estudo também apontou que a lixiviação do nitrato é mais freqüente a partir do instante em que a demanda hídrica da planta tende a diminuir;
- Os resultados de DQO analisados no perfil do solo resultaram em uma eficiência média de 95% de remoção em relação ao efluente aplicado;
- 75% dos resultados de DBO dos coletores encontram-se na faixa prevista (de 2 a  $5 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ );
- Redução média de 65% da concentração de coliformes totais e fecais.

Em outra pesquisa desenvolvida em Franca-SP, também realizada por meio da irrigação de milho (por sulcos de infiltração), com efluente proveniente de lagoa anaeróbia, a eficiência média na remoção de DBO nos percolados coletados a 0,50 m de profundidade, foi próxima a 85%. Já em relação ao nitrato, verificou-se um valor médio de  $16,60 \text{ mg L}^{-1}$  onde foi aplicado o efluente desinfectado e  $12,10 \text{ mg L}^{-1}$  nos locais de aplicação do efluente sem desinfecção (CINTRA, 2008).

São escassos na literatura registros referentes à irrigação de eucalipto com água ou efluente, embora a cultura do eucalipto tenha incorporado alta tecnologia em

seu sistema de produção, como o melhoramento genético, clonagem, adubação química e controle de doenças e pragas.

Uma pesquisa desenvolvida pela Universidade Federal de Viçosa, utilizando efluente tratado de fabricação de celulose branqueada, na irrigação de eucalipto, apresentou uma eficiência de 50% na remoção de DBO, após 0,40 m de percolação. Os valores da concentração de sódio nos lixiviados chegaram a ser superiores à concentração do efluente, o que se justifica pela lixiviação de parte de sais anteriormente retida no solo (REZENDE et al., 2009).

Outro registro de irrigação de eucalipto com efluentes ocorreu em Limeira-SP, em uma pesquisa na qual se aplicou o processo de tratamento de efluente de indústria cítrica no solo por meio de sulcos largos de infiltração, irrigando eucalipto da variedade *grandis*, em uma área de dois hectares. O monitoramento do tratamento do efluente no solo se deu por meio da utilização de sondas de ponta porosa, coletores de drenagem livre (0,50 e 1,50 m de profundidade) e poços de observação. Verificaram-se os seguintes resultados nos coletores de drenagem livre (CARRARO, 1995):

- **DQO** - Comparando-se os valores do efluente bruto com os valores dos lixiviados dos coletores de drenagem livre, verificou-se uma eficiência média de remoção de 70% para os coletores de 0,50 m de profundidade e 77% para os coletores de 1,50 m;
- **DBO** - Os valores da DBO nas amostras coletadas dos coletores de drenagem livre sofreram uma redução significativa, principalmente aqueles situados a 1,50 m de profundidade, chegando à remoção de 95%, quando comparados com as análises feitas das amostras do efluente bruto;
- **pH** - Os valores de pH das amostras do efluente bruto analisados mantiveram-se na faixa de aproximadamente 10. Já os valores de pH dos coletores de drenagem Livre mantiveram uma média de 6,40 no coletor de 0,50 m e 6,87 no coletor de 1,50 m de profundidade.

### 3.2.3 Impactos do tratamento de efluentes no solo

A irrigação de culturas com efluentes tem causado mais impactos positivos do que negativos, devido ao bom desenvolvimento da planta, propiciado pelos nutrientes e pela matéria orgânica presentes nos esgotos. Dessa forma, além da vantagem econômica, proporcionada pela economia de fertilizantes, ainda há redução do impacto ambiental ocasionada pelo tratamento dos efluentes no sistema solo-planta, evitando que os esgotos sejam lançados nos cursos d'água.

Na Tabela 3.2 são apresentados os valores de produtividade de diferentes culturas, irrigadas com efluentes e água mais adubação.

**Tabela 3.2 - Produtividade de culturas irrigadas com esgotos sanitários (t ha<sup>-1</sup>)**

| Irrigação com                | Trigo <sup>a</sup> | Batata <sup>a</sup> | Algodão <sup>a</sup> | Sorgo <sup>b</sup> | Milho <sup>b</sup> | Girassol <sup>b</sup> |
|------------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| Efluente primário            | 3,45               | 20,78               | 2,3                  | 8,7                | 8,9                | 2,2                   |
| Efluente lagoa estabilização | 3,45               | 22,31               | 2,41                 | 8,6                | 8,6                | 2,3                   |
| Água + NPK <sup>c</sup>      | 2,7                | 17,16               | 1,71                 | 9,1                | 8,1                | 1,9                   |

Fonte: <sup>a</sup> Feigin et. al. (1991) e <sup>b</sup> Marecos do Monte e Mara (1987), Citados por BELINGIERI (2005), <sup>c</sup> Nitrogênio, fósforo e potássio

O solo, por meio de processos físicos, químicos e biológicos, executa a remoção de poluentes contidos nos efluentes, porém alguns fatores como: lâmina hídrica de esgoto aplicada, o período e a frequência de aplicação devem ser monitorados, para que não haja problemas de contaminação do solo e da água subterrânea. Solos que recebem alta concentração de efluentes podem, em curto espaço de tempo, ter seu desempenho prejudicado, exigindo uma paralisação na aplicação de efluentes (USEPA, 1981).

Segundo PIVELI (2006), a taxa de decomposição da matéria orgânica no solo pode ser alterada com a aplicação de efluentes, acarretando a diminuição dos teores de C e N. Isso ocorre devido à taxa de mineralização ser extremamente dependente do

potencial de água no solo. Dessa forma, a irrigação com esgoto, ao aumentar a umidade do solo, pode alterar os processos de ciclagem de N e C. Em contrapartida, a aplicação de efluentes proporciona um incremento no solo de C e N nas formas mineral e orgânica.

De acordo com RAIJ (1996), o nutriente que pode causar maiores problemas ao ambiente é o nitrogênio, por meio da lixiviação do nitrato para os lençóis freáticos.

Conforme HIRATA (2001), o ânion nitrato é o contaminante mais presente nas águas subterrâneas. As fontes mais comuns de nitrato são os sistemas de saneamento *in situ* (fossas e latrinas) e a aplicação de fertilizantes que contenham nitrogênio na agricultura. Devido a vários processos que ocorrem na subsuperfície, é desconhecida a quantidade de Nitrogênio que será lixiviada, bem como sua diluição e redução química.

O processo de nitrificação ocorre em duas etapas: na primeira, o íon amônio na presença de oxigênio é convertido em íon nitrito pela ação de bactérias Nitrosomonas e na segunda etapa, o íon nitrito na presença de oxigênio é convertido no ânion nitrato pela ação das bactérias Nitrobacter (METCALF e EDDY, 1991).

No processo de desnitrificação o ânion nitrato pode atuar comumente como receptor de elétrons e ser reduzido a  $N_2O$ ,  $NO$  e  $N_2$ , que são gasosos e podem ser liberados no ambiente. Esse processo é indesejável do ponto de vista agrícola, pois resulta na diminuição de nitrogênio do solo podendo proporcionar a falta de nutrientes para as plantas. Nos sistemas de tratamento de esgotos a desnitrificação é desejável, pois converte o nitrato a nitrogênio molecular, reduzindo assim a quantidade de nitrogênio no meio (MADIGAN et al., 2000).

De acordo com REZENDE et al. (2009), a lixiviação pode ocorrer se o nitrato estiver presente em grandes quantidades no solo antes do plantio ou quando a cultura não estiver utilizando esse nutriente, ou ainda quando a irrigação ou a chuva exceder a capacidade de retenção do solo e o requerimento de umidade da cultura.

Segundo CORAUCCI FILHO et al. (1999) em solos arenosos, o nitrato apresenta maior mobilidade no perfil, quando comparados a outros tipos de solo. Já em solos com baixa permeabilidade, o risco de contaminação do lençol freático por meio da percolação do nitrato é reduzido (GILDE et al., 1971).

O consumo de nitrato em altas concentrações pode causar a metahemoglobinemia em crianças, pois devido à baixa acidez gástrica, o sistema digestivo infantil promove a oxi-redução e converte os nitratos em nitritos, bloqueando a capacidade portadora de oxigênio do sangue da criança, acarretando asfixia e morte (SAMPAT, 2000).

Dessa forma, sabe-se que o nitrogênio é um nutriente vital para o crescimento das plantas, porém, quando a sua aplicação excede a demanda do vegetal e a capacidade de desnitrificação do solo, ele pode lixiviar para os lençóis freáticos em forma de nitrato. Sendo assim, a aplicação de fertilizantes orgânicos e inorgânicos ou a disposição de altas taxas de efluente podem proporcionar a contaminação dos lençóis freáticos.

A Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde do Brasil, que define os padrões de potabilidade da água para consumo humano, estabelece o valor máximo de nitrato de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  (expressos em N). Segundo SOUZA (2004), diferentes organizações ao redor do mundo, adotam limites máximos de nitrato de 50 a  $100 \text{ mg L}^{-1}$ .

Contudo, a contaminação do lençol freático pode ser evitada, desde que as taxas de aplicação de esgotos sejam adequadas e a vegetação assimile o nitrogênio. Para isso, faz-se necessário realizar de maneira correta o gerenciamento da irrigação, do plantio e da colheita, minimizando o risco de contaminação do lençol freático por nitrato.

Com relação ao fósforo, verificam-se, nos solos tropicais, uma baixa mobilidade e alta adsorção. Normalmente a quantidade adicionada ao solo não tem sido excessiva, embora tenha se observado um aumento nos teores desse elemento nos solos,

principalmente na camada superficial, em locais onde se pratica a irrigação com efluentes. A capacidade do solo em reter fósforo tem reduzido a ocorrência desse nutriente lixiviar para fora dos limites da zona radicular. Verifica-se também que as plantas estão sendo eficientes na remoção desse nutriente (FALKINER & POLGLASE, 1997).

Conforme AYERS & WESTCOT (1991), valores superiores a 70 mg L<sup>-1</sup> na concentração de sódio do efluente na irrigação por aspersão, podem ocasionar problemas de toxicidade e também queima das folhas.

O solo tem seus atributos físicos muito afetados pelo aumento da impermeabilidade, ocasionando drástica redução da sua condutividade hidráulica. A atuação do sódio em solos argilosos acarreta sua desestruturação química, podendo acelerar o processo de colmatação. A capacidade de absorção radicular de água pela planta e conseqüentemente seu metabolismo também podem ser afetados pela presença de sais na solução do solo, uma vez que atuam no potencial osmótico (Hamilton et al., 2005).

NUCCI et al. (1978) consideram críticos os valores da Razão de Adsorção de Sódio (RAS), maiores que 10, encontrados em solos tratados com efluentes. A aplicação de calcário a estes solos pode equilibrar os elevados teores de sódio presentes, reduzindo os danos do excesso do elemento para o solo e plantas (CINTRA, 2008).

Para evitar a salinização do solo é necessário que sejam tomados os devidos cuidados quanto à aplicação de efluentes com altas concentrações de sódio. Para avaliação da salinidade, utiliza-se a Razão de Adsorção do Sódio (RAS), que pode ser calculada por meio da equação 3.1.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

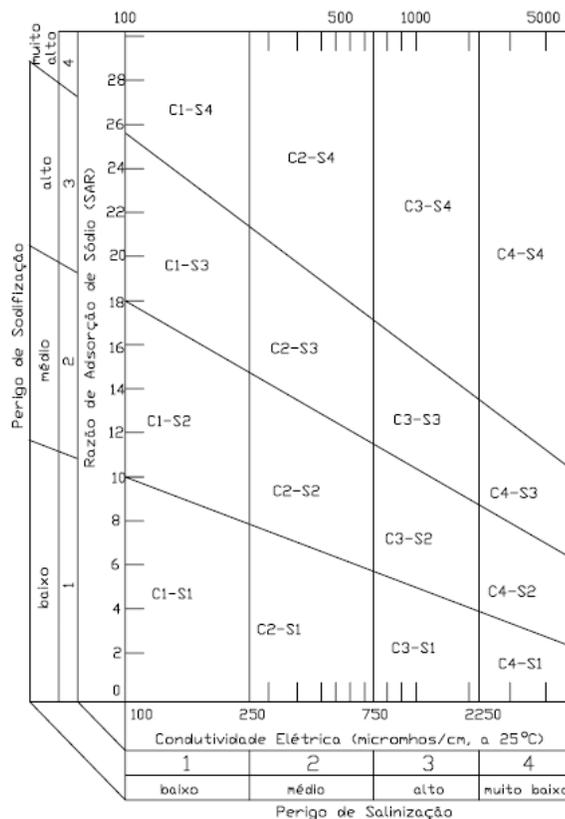
**Equação 3.1**

Onde:

RAS = Razão de adsorção de sódio

Conforme REAMI (2008) as concentrações de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  são determinadas no extrato saturado do solo ou no efluente a ser utilizado, em  $\text{mg L}^{-1}$ , e, para a equação devem ser utilizadas em miliequivalente por litro (mE/l). Desta forma, as concentrações de Na, Ca e Mg para serem convertidas em mE/l devem ser divididas respectivamente por 23, 20 e 12,2 .

O perigo de salinização do solo, em função da condutividade elétrica e da RAS por meio da irrigação, pode ser classificado conforme o diagrama apresentado na Figura 3.3.



**Figura 3.3 - Diagrama para classificação de água de irrigação**

Fonte: U.S. Salinity Laboratory Staff - Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos - citado por SALASSIER (1995)

De acordo com as interpretações referentes ao diagrama da Figura 3.3, quanto ao perigo de salinização, relacionados aos sais presentes no efluente, entre eles o sódio, o cálcio e o magnésio, detectado pela condutividade elétrica:

C1: Águas com baixa salinidade. Pode ser usada na maioria das lavouras e em quase todos os solos, com pequeno risco de salinização, salvo se a permeabilidade for extremamente baixa;

C2: Águas com salinidade média. Pode ser usada em solos que apresentam lixiviação moderada. As plantas com baixa tolerância salina podem ser cultivadas, na maioria dos casos, sem perigo;

C3: Águas com salinidade alta. Não pode ser usada em solos de drenagem deficiente. Presta-se para culturas com boa tolerância salina;

C4: águas com salinidade extremamente alta. Não devem ser usadas para irrigação, salvo em plantas com alta resistência salina em solos bastante permeáveis, e abundantemente irrigadas.

Conforme REAMI (2008) quanto ao perigo de sodificação, relacionado ao sal sódio:

S1: água com baixa proporção de sódio. Pode ser usada quase em todos os tipos de solo, sem risco de acumulação de quantidades nocivas de sódio permutável. Fazem-se ressalvas apenas às lavouras muito sensíveis ao sódio;

S2: água com proporção média de sódio. Envolve certo risco em condições de lixiviação deficiente, em terrenos de textura argilosa com elevada capacidade catiônica. Pode ser usada em solos orgânicos ou de textura arenosa com boa permeabilidade;

S3: água com proporção elevada de sódio. Pode conduzir a quantidades perigosas de sódio permutável na maior parte dos solos, aceitáveis apenas em condições de boa drenagem e lixiviação intensa;

S4: água com proporção muito elevada de sódio. Geralmente é inadequada para irrigação.

Segundo MCBRIDE (1995), muitos estudos demonstram alta capacidade dos solos na retenção de metais potencialmente tóxicos (metais pesados), devido à baixa solubilidade e alta adsorção específica desses metais.

Na saúde pública, cuidados devem ser tomados com relação à irrigação, devido à sobrevivência de microrganismos patogênicos no ar (irrigação por aspersão), na água e no solo. Assim, deve-se evitar que os microrganismos patogênicos se dispersem para fora da área de aplicação de efluente. Medidas como cultivo exclusivo de vegetais que não são ingeridos crus, e/ou na existência de pós-tratamento por cloro, ozônio e peróxido que elimine os riscos de contaminação podem ser adotadas para prevenir riscos à saúde pública (FONSECA, 2000).

Segundo ANDRADE NETO (1992), de acordo com uma análise de riscos, os impactos para saúde, quando da utilização de efluentes tratados na irrigação, são menores do que se imagina e perfeitamente controláveis.

### **3.3 Irrigação**

O objetivo da irrigação é atender a necessidade hídrica da planta, por meio da disposição de água no solo. Entretanto, de acordo com VIEIRA (1995), irrigar não é simplesmente molhar o solo, mas sim aplicar a quantidade de água necessária, considerando alguns fatores como: o tipo de solo, a declividade do terreno, a capacidade de retenção de água no solo e o tipo de cultura, no intuito de aumentar a

produtividade ou realizar a colheita fora dos períodos convencionais. É importante ressaltar que a irrigação não deve ocasionar problemas como a saturação do solo e perdas por percolação, podendo comprometer a qualidade do lençol freático.

Conforme PAGANINI (1997), a irrigação de culturas com efluentes pode ser definida como a descarga controlada sobre o solo com a finalidade de suportar o crescimento da planta. No processo, o efluente é submetido aos seguintes procedimentos: infiltração até atingir o lençol subterrâneo; incorporação pela vegetação, lançamento à atmosfera pela evapotranspiração; incorporação ao solo por reações químicas, ou na forma de umidade, podendo ser transitória ou permanente.

A irrigação possibilita a viabilidade econômica da agricultura em regiões áridas e semi-áridas, enquanto em regiões úmidas e semi-úmidas propicia a correção da distribuição irregular da pluviometria durante o ano, não prejudicando o metabolismo da planta (VIEIRA, 1995).

Segundo a USEPA (1976), existem basicamente dois tipos de sistemas de irrigação com efluentes. Um sistema, cujo objetivo é maximizar a produção da cultura agrícola, deixando o tratamento do efluente em segundo plano. Esse sistema opera com baixas taxas de irrigação, sendo necessárias grandes áreas para aplicação dos efluentes, reduzindo, dessa forma, os impactos negativos ao sistema solo-planta, devido à maior diluição dos poluentes. O outro sistema tem como finalidade o tratamento do efluente e é denominado irrigação de alta taxa, o qual deve ser realizado com reservas em cultura secundária, tais como eucaliptos que tem elevada taxa de evapotranspiração (REAMI, 2008).

De acordo com GHEYI et al. (1999), uma irrigação eficiente deve adotar as seguintes medidas:

- aplicação da quantidade de água necessária;
- irrigação com água de qualidade aceitável;

- estabelecimento de uma frequência adequada de irrigação e emprego dos métodos convenientes;
- prevenção da salinização na zona radicular por meio de lixiviação;
- controle do acúmulo de água sobre a superfície do solo, mediante uma drenagem apropriada;
- manejo adequado dos nutrientes para os cultivos.

### **3.3.1 Quantidade de água necessária**

O processo de evapotranspiração consome grande parte da água aplicada na planta (chuva e irrigação). Nesse sentido, a água necessária para a vegetação é equivalente à quantidade de água perdida nesse processo. A taxa de evapotranspiração depende do tipo de vegetação e de fatores climáticos, que podem ser estimados segundo os dados meteorológicos da região (WHO, 2006).

Segundo VIEIRA (1995), a irrigação deve ser realizada antes que a umidade do solo alcance teor abaixo do valor mínimo condizente com a produtividade agrícola. Este valor limite corresponde ao potencial matricial crítico do solo ( $\psi_c$ ), ou seja, valor acima do qual a planta começa a perder em produtividade devido ao esforço que deve realizar para absorver a água do solo contra os esforços de absorção e capilaridade. A este potencial matricial, corresponde uma umidade denominada umidade crítica (UC), situada entre os valores de umidade correspondente à capacidade máxima de retenção de água no solo, chamada de capacidade de campo (CC), acima da qual o líquido lixívia para o aquífero, e à umidade remanescente quando ocorre e se mantém a murcha da planta, designado ponto de murchamento (PM).

Desta forma, para que a planta atinja o metabolismo adequado, deve-se controlar a umidade do solo para valores entre a UC e CC. Quando a umidade do solo atinge valores próximos a UC, aplica-se uma quantidade de água correspondente à

lâmina hídrica líquida ( $H_i$ ). Esta lâmina é calculada em função de atributos característicos do solo e da cultura irrigada. Desta forma restaura-se a umidade do solo para valores próximos à CC (SOUZA, 2004).

A porosidade junto com a densidade do solo ( $D_s$ ) dá uma noção do grau de compactação do mesmo. Os valores da densidade do solo variam de  $1 \text{ g cm}^{-3}$ , normalmente em solos turfosos, até valores próximos a  $1,9 \text{ g cm}^{-3}$ . Os vazios do solo (espaço poroso) podem ser preenchidos com variáveis quantidades de ar e água (EMBRAPA, 2008).

Conforme FANCELLI et al. (2000), existem, no mínimo, três métodos para monitoramento da quantidade de água no solo: o tensiômetro, o tanque Classe A e o método gravimétrico. O tensiômetro calcula o armazenamento crítico a partir da umidade crítica, que está associada a um valor potencial matricial crítico. O monitoramento da irrigação por meio de métodos climatológicos, como o tanque Classe A é feito estimando o armazenamento crítico em função do fator de depleção de água no solo e da evapotranspiração máxima da cultura. A utilização do método gravimétrico, por meio do controle da umidade atual (UA), apresenta resultados reais de campo, baseando no ensaio de umidade do solo, em peso. Quando a UA atinge o valor da UC, aplica-se água por meio da irrigação com a lâmina hídrica correspondente, retornando a umidade do solo à capacidade de campo (VIEIRA, 1995).

A irrigação deve ser realizada por meio da aplicação de uma lâmina hídrica adequada, maximizando assim o desenvolvimento da cultura e propiciando maior rendimento econômico.

### 3.3.2 Qualidade da água para irrigação

A água utilizada para irrigação depende de uma série de fatores como: condições climáticas locais, características físicas e químicas do solo, tolerância da cultura à salinidade, práticas agronômicas e da técnica de irrigação empregada.

Recomenda-se que seja monitorada de forma contínua a salinidade do solo, por meio da RAS (Razão de Adsorção de Sódio), no intuito de prevenção quanto à impermeabilização do solo e a baixa eficiência do sistema. Dependendo do tipo de solo e das condições de lavagem e drenagem, poderão ocorrer problemas relacionados à salinidade quando a Condutividade Elétrica for maior que 3 dS/m, os Sólidos Dissolvidos maior que 2000 mg L<sup>-1</sup> e a RAS de 3 a 9 (WHO, 2006).

A CETESB no ano de 2006, no intuito de criar procedimentos internos para disciplinar a prática de reuso de efluente proveniente de estação de tratamento de esgoto sanitário, publicou a Instrução Técnica nº 31. Nessa instrução, a CETESB estabeleceu as concentrações máximas permitidas nos efluentes líquidos provenientes de estações de tratamento de esgoto, para aplicação em culturas, conforme apresentado nas Tabelas 3.3 e 3.4. Esses atributos foram baseados nos trabalhos da FAO, nos padrões de lançamento da Resolução CONAMA nº 357/05 e no regulamento da lei estadual paulista nº 997/76, aprovado pelo decreto estadual nº 8.468/76.

**Tabela 3.3 - Concentrações máximas permitidas nos efluentes líquidos provenientes de estações de tratamento de esgoto doméstico, para aplicação em culturas.**

| Substâncias              | Concentração (mg L <sup>-1</sup> ) |
|--------------------------|------------------------------------|
| Alumínio                 | 5,0                                |
| Arsênio                  | 0,10                               |
| Bário                    | 5,00**                             |
| Berílio                  | 0,10                               |
| Boro                     | 0,5**                              |
| Cádmio                   | 0,01                               |
| Chumbo                   | 0,5**                              |
| Cianeto                  | 0,2**                              |
| Cloreto                  | 106,5***                           |
| Cobalto                  | 0,05                               |
| Cobre                    | 0,2                                |
| Cromo                    | 0,10                               |
| Fenóis totais            | 0,5*                               |
| Ferro                    | 5,0                                |
| Fluoreto                 | 1,0                                |
| Manganês                 | 0,20                               |
| Merúrio                  | 0,01**                             |
| Molibdênio               | 0,01                               |
| Níquel                   | 0,2                                |
| Prata                    | 0,02                               |
| Selênio                  | 0,02                               |
| Sódio                    | 69,0***                            |
| Sulfeto                  | 1,0*                               |
| Vanádio                  | 0,10                               |
| Zinco                    | 2,0                                |
| Clorofórmio              | 1,0*                               |
| Dicloroetano             | 1,0*                               |
| Tetracloroeto de carbono | 1,0*                               |
| Tricloroetano            | 1,0*                               |

\* Resolução CONAMA 357/2005

\*\* Decreto Estadual 8.468/76

\*\*\* Concentrações de boro acima de 0,5 mg L<sup>-1</sup>, de cloreto acima de 106,5 mg L<sup>-1</sup> e de sódio acima de 69 mg L<sup>-1</sup> são tóxicas para plantas sensíveis, como frutíferas, principalmente por sistemas de aspersão.

Fonte: Adaptada CETESB (2006).

**Tabela 3.4 - Valores microbiológicos para uso de esgoto doméstico tratado na aplicação em culturas.**

| <b>Categoria</b> | <b>Condições de reuso</b>   | <b>Grupos expostos</b>   | <b>Técnicas de Aplicação</b> | <b>Ovos de helmintos<sup>a</sup><br/>(média aritmética do n° de ovos por litro<sup>b</sup>)</b> | <b>Coliformes termotolerantes (média geométrica do n° por 100 ml<sup>c</sup>)</b> |
|------------------|---|--|------------------------------|---|---|
| A                | Campos esportivos, parques públicos   | Trabalhador, público   | Qualquer                     | ≤ 0,1   | ≤ 200   |
| B                | Cereais, cultura a ser industrializada, silvicultura, árvores frutíferas <sup>d</sup> , forrageira para feno e silagem <sup>e</sup> | B1 – trabalhadores (exceto crianças menores de 15 anos), comunidades vizinhas  | (a) aspersão                 | ≤ 1,0   | ≤ 10 <sup>5</sup>   |
|                  |   | B2 – Idem ao B1  | (b) inundação/canal          | ≤ 1,0   | ≤ 10 <sup>3</sup>   |
|                  |   | B3 – trabalhadores incluindo crianças menores de 15 anos, comunidades vizinhas | Qualquer                     | ≤ 0,1   | ≤ 10 <sup>3</sup>   |
| C                | Aplicação localizada de culturas da categoria B se não ocorrer exposição de trabalhadores e público                                 | Nenhum   | Gotejamento, microaspersão   | Não aplicável   | Não aplicável   |

a – Ascaris e Trichuris e ancilóstomo; esse valor tem, também a intenção de proteger contra riscos de protozoários

b – Durante o período de aplicação

c – Durante o período de aplicação (a contagem de coliformes termotolerantes deve ser feita, de preferência, semanalmente, no mínimo mensalmente)

d – Para árvores frutíferas, a aplicação deve ser interrompida duas semanas antes da colheita e, a fruta não pode ser colhida do chão. A aplicação em aspersão convencional não deve ser usada.

e – Aplicação em plantas forrageiras não será permitida para pastejo direto. O fornecimento de forrageira no cocho é considerado como pastejo direto.

Fonte: CETESB (2006) adaptado de WHO (2000).

A maioria das regulamentações sobre reuso, quando se refere a contaminantes químicos, limita-se basicamente a atributos como a DQO (Demanda Química de Oxigênio), a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), pH, SST (Sólidos Suspensos Totais), alguns produtos químicos específicos, metais potencialmente tóxicos (metais

pesados), óleos minerais, alguns pesticidas e atributos relacionados aos microrganismos patogênicos, porém, mais recentemente, vem surgindo uma preocupação a respeito dos fármacos e hormônios (WEBER et al., 2006).

Conforme SALGOT et al. (2001), já existe uma preocupação global quanto à inclusão de atributos químicos nas diretrizes que regulamentam o reuso na agricultura, pois há produtos químicos que em baixas concentrações podem não ocasionar problemas agora. Porém, a longo prazo são capazes de apresentar efeitos crônicos ou bioacumulação.

De acordo com GHEYI et al. (1999), os atributos químicos necessários para avaliar a qualidade da água são: concentração total de sais dissolvidos, condutividade elétrica, razão de adsorção de sódio, íons tóxicos e pH, entre outros.

### **3.4 Lagoas de Estabilização**

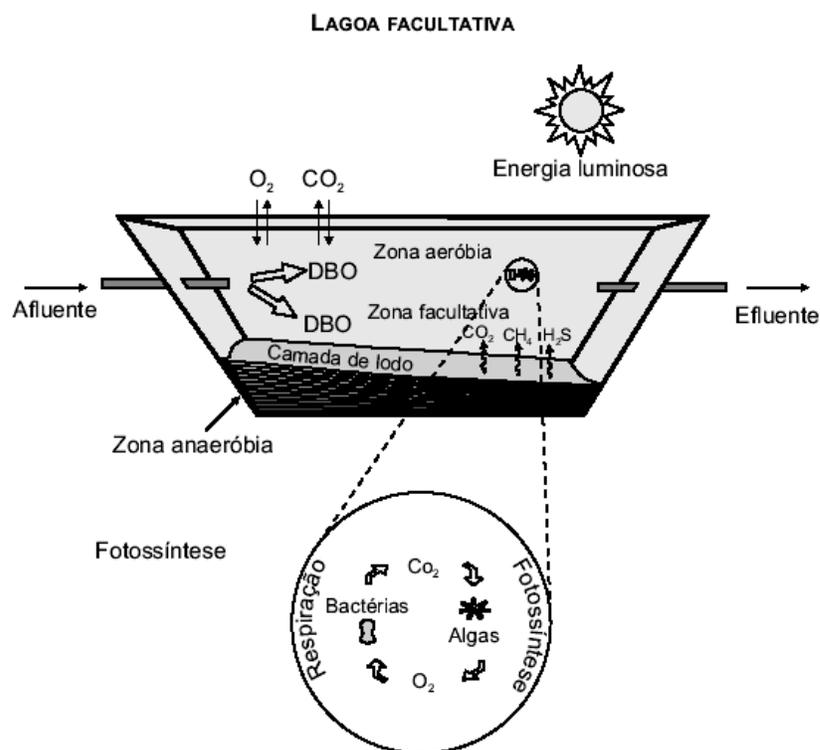
As lagoas de estabilização são amplamente utilizadas no tratamento de esgotos sanitários no Brasil, devido principalmente a sua simplicidade de construção e operação.

O sistema baseia-se na entrada de esgoto em uma extremidade da lagoa e saída na extremidade oposta. Durante esse percurso, que tem duração de vários dias (tempo de detenção), uma série de fenômenos contribui para a purificação dos esgotos.

Dentre os vários sistemas de lagoas de estabilização, a lagoa facultativa é o mais simples. No processo, parte da matéria orgânica em suspensão tende a sedimentar, vindo a constituir o lodo de fundo. Esse lodo sofre o processo de decomposição por microrganismos anaeróbios, sendo convertido em gás carbônico, metano e outros. Só a fração inerte permanece na camada de fundo sem alteração na sua natureza. A matéria orgânica dissolvida, conjuntamente com a matéria orgânica em

suspensão de pequenas dimensões, não sedimenta, permanecendo dispersa na massa líquida. A sua decomposição se dá pela ação de bactérias facultativas, que têm a capacidade de sobreviver tanto na presença quanto na ausência de oxigênio livre (daí a designação de facultativas, que define o próprio nome da lagoa). Essas bactérias utilizam-se da matéria orgânica como fonte de energia, alcançada por meio da respiração. Na respiração aeróbia, há a necessidade da presença de oxigênio, que é suprido ao meio pela fotossíntese realizada pelas algas. Há, assim, um perfeito equilíbrio entre o consumo e a produção de oxigênio e gás carbônico (VON SPERLING, 2005).

Na Figura 3.4 é apresentado o esquema simplificado do sistema de tratamento de esgoto por meio de lagoa facultativa.



**Figura 3.4 - Esquema simplificado de uma lagoa facultativa**  
(Fonte: VON SPERLING, 2005)

O processo de tratamento de efluentes por lagoas de estabilização é caracterizado, principalmente, pela remoção de matéria orgânica. Entretanto, verifica-se que com algumas adaptações no fluxograma e na geometria das lagoas, podem ser alcançadas elevadíssimas eficiências de remoção de organismos patogênicos ou, de forma mais específica, dos seus principais indicadores (coliformes e ovos de helmintos). Com esse sistema também é possível obter uma significativa remoção de nitrogênio e até mesmo de fósforo (VON SPERLING, 2002).

Segundo REAMI (2008), as lagoas facultativas são classificadas em lagoas primárias e secundárias. Quando as lagoas facultativas recebem esgoto bruto, são denominadas lagoas primárias. Uma lagoa secundária é aquela que recebe seu afluente de uma unidade de tratamento precedente, tal como lagoas anaeróbias.

No Tabela 3.5 são apresentadas as principais vantagens e desvantagens de um sistema de tratamento de esgotos por meio de lagoa facultativa.

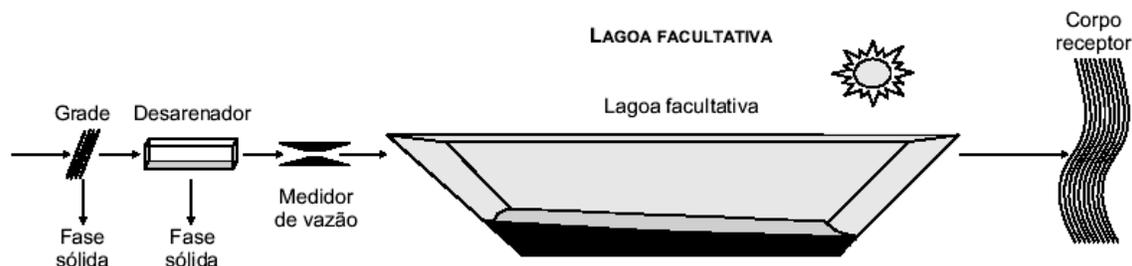
**Tabela 3.5 - Vantagens e desvantagens do sistema de tratamento de esgoto por lagoa facultativa**

| <b>Vantagens</b>  | <b>Desvantagens</b>   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Satisfatória eficiência na remoção de DBO</li> <li>- Eficiência na remoção de patogênicos</li> <li>- Construção, operação e manutenção simples</li> <li>- Reduzidos custos de implantação e operação</li> <li>- Satisfatória resistência a variações de carga</li> <li>- Remoção de lodo necessário apenas após períodos superiores a 20 anos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevados requisitos de áreas</li> <li>- Dificuldade em satisfazer padrões de lançamento bem restritivos</li> <li>- A simplicidade operacional pode trazer o descaso na manutenção (crescimento da vegetação)</li> <li>- Possível necessidade de remoção de algas do efluente para o cumprimento de padrões rigorosos</li> <li>- Performance variável com as condições climáticas (temperatura e insolação)</li> <li>- Possibilidade do crescimento de insetos</li> </ul> |

Fonte: VON SPERLING (2005)

Geralmente as lagoas facultativas possuem um sistema de tratamento preliminar, composto por grades para reter o material grosseiro, caixa de areia para

retirada do material inerte e medidor de vazão, conforme pode ser observado na Figura 3.5.



**Figura 3.5 - Fluxograma típico de um sistema de lagoa facultativa**  
(Fonte: VON SPERLING, 2005)

De acordo com VON SPERLING (2005), as lagoas facultativas apresentam eficiência, conforme a Tabela 3.6.

| <b>Tabela 3.6 - Eficiência das lagoas facultativas primárias</b> |                                   |  |
|--|-----------------------------------|--|
| <b>Parâmetro</b>   | <b>Concentração do Efluente</b>   | <b>Eficiência média de remoção (%)</b> |
| DBO <sub>5,20</sub> (mg L <sup>-1</sup> )                        | 50 – 80                           | 75 – 85                                |
| DQO (mg L <sup>-1</sup> )  | 120 – 200                         | 65 – 80                                |
| SS (mg L <sup>-1</sup> )   | 60 - 90                           | 70 – 80                                |
| Amônia –N (mg L <sup>-1</sup> )                                  | > 15                              | < 50                                   |
| N total (mg L <sup>-1</sup> )                                    | > 20                              | < 60                                   |
| P total (mg L <sup>-1</sup> )                                    | > 4                               | < 35                                   |
| CF (mg L <sup>-1</sup> )   | 10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup> | 1 – 2 (Unid.log)                       |
| Ovos Helm. (ovo/L)   | < 1                               |  |

Fonte: VON SPERLING (2005)

Apesar das lagoas facultativas apresentarem uma eficiência satisfatória, em alguns casos, esse tipo de tratamento pode não atender a padrões de lançamento mais restritivos, sendo necessária a implantação de sistemas de pós-tratamento. Nesse contexto, o reuso, por meio da irrigação de culturas agrícolas, pode ser uma alternativa viável, pois o sistema solo-planta absorve dos esgotos os nutrientes nele presentes, realizando a depuração dos poluentes e fornecendo condições para o desenvolvimento da planta.

### 3.5 Cultura de Eucalipto

Diante da necessidade de madeira para os mais devidos fins e das questões ecológicas relacionadas à utilização das florestas nativas, o cultivo do eucalipto tornou-se uma alternativa viável para suprir essa demanda.

Conforme GRUBER (2006) as espécies de eucalipto são originárias quase que totalmente da Austrália. Há indícios de que a introdução no Brasil tenha ocorrido em 1825, no Jardim Zoobotânico do Rio de Janeiro (EMBRAPA, 2000).

A madeira de eucalipto tem-se prestado a uma série de finalidades. Além dos usos tradicionais, como lenha, estacas, moirões, dormentes, carvão vegetal, celulose e papel, chapas de fibras e de partículas, há uma forte tendência em utilizá-la, também, para usos mais nobres, como para a fabricação de casas, móveis e estruturas, especialmente nas regiões Sudeste e Sul, carentes de florestas naturais.

Existe um grande número de espécies de eucalipto, com características bastante diferenciadas, porém, poucas espécies têm sido plantadas em escala comercial. De acordo com a EMBRAPA (2000), duas estratégias podem ser empregadas quando o objetivo é produzir madeira de alta qualidade. A primeira, mais utilizada até hoje, consiste em melhorar geneticamente a qualidade da madeira das espécies mais plantadas, como *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. A segunda alternativa é a identificação de espécies produtoras de madeira de características satisfatórias para o uso a que se pretende, com programas posteriores destinados a aumentar a produtividade.

Devido ao clima favorável e às características da cultura tais como: rápido crescimento, abundância em madeira, facilidade em exploração, madeira relativamente homogênea e baixo custo; o Brasil apresenta excelentes condições para o desenvolvimento da cultura de eucalipto (SCANAVACA JUNIOR, 2001).

Segundo a SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA (2005), no ano de 2004 o Brasil contava com cerca de 3,4 milhões de hectares cultivados com eucalipto, sendo que as regiões Sul e Sudeste abrangem aproximadamente 63% desse total.

Desde quando começou a ser plantado intensivamente, discute-se o impacto do eucalipto sobre as reservas hídricas do solo. Devido ao seu crescimento vertiginoso, o consumo de água da planta é acentuado, porém várias pesquisas comprovam que a demanda hídrica do eucalipto é menor que outras espécies vegetais, inclusive as matas nativas (CALDER et al., 1992). Na Tabela 3.7 é apresentada a quantidade de água consumida anualmente por algumas culturas.

**Tabela 3.7 - Quantidade de água necessária durante um ano**

| Cultura        | Consumo de água (mm) |
|----------------|----------------------|
| Cana-de-açúcar | 200-2000             |
| Café           | 800-1200             |
| Citrus         | 600-1200             |
| Milho          | 400-800              |
| Feijão         | 300-600              |
| Eucalipto      | 800-1200             |

Obs: 1 mm(milímetros) corresponde a 1 litro por metro quadrado

Fonte: CALDER et al. (1992)

O eucalipto utiliza a água de forma mais eficiente que outras culturas (Tabela 3.8), produzindo mais biomassa por quantidade de água consumida (NOVAIS et al., 1996).

**Tabela 3.8 - Comparação entre o consumo de água e a produção de biomassa do eucalipto e outras culturas**

| Cultura        | Eficiência no uso da água |
|----------------|---------------------------|
| Batata         | 1 kg de batata / 2.000 l  |
| Milho          | 1 kg de milho / 1.000 l   |
| Cana-de-açúcar | 1 kg de açúcar / 500 l    |
| Cerrado        | 1 kg de madeira / 2.500 l |
| Eucalipto      | 1 kg de madeira / 350 l   |

Fonte: NOVAIS et al. (1996)

Graças ao clima brasileiro e ao avanço alcançado pelas empresas em pesquisa e tecnologia florestal, o eucalipto pode ser colhido em apenas 7 anos para a produção de celulose, quando atinge até 35 metros de altura. Em alguns casos, o rendimento do eucalipto se aproxima dos 50 m<sup>3</sup> de madeira por hectare ano<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 2003).

Um dos atributos utilizados pela Engenharia Florestal para avaliar a produtividade do eucalipto é o DAP (diâmetro à altura do peito). O DAP é medido 1,30 m de altura a partir da base do tronco, podendo ser obtido diretamente com compasso florestal ou paquímetro e indiretamente com fita métrica ou fita diamétrica, assumindo-se que a secção transversal do tronco é um círculo para fazer a conversão da medida de circunferência em diâmetro.

Na literatura há escassos registros referentes ao aumento da produtividade de eucalipto a partir da irrigação com efluentes. A EMBRAPA (2008), por meio de uma pesquisa, avaliou o crescimento médio das árvores de eucaliptos da espécie *grandis* (Tabela 3.9), plantados em 1998, com e sem resíduos de colheita e/ou adição de resíduo celulósico, em solo de textura média, em Mogi Guaçu, estado de São Paulo.

**Tabela 3.9 - Crescimento médio das árvores de eucaliptos, plantados em 1998, com e sem resíduos de colheita e/ou adição de resíduo celulósico, em solo de textura média, em Mogi Guaçu - SP.**

| Tratamento | Idade (ano) |       |       |       |          |        |        |
|------------|-------------|-------|-------|-------|----------|--------|--------|
|            | 1           | 2     | 3     | 4     | 2        | 3      | 4      |
|            | Altura (m)  |       |       |       | DAP (mm) |        |        |
| 1          | 4,30        | 10,70 | 19,20 | 22,90 | 76,00    | 110,00 | 121,00 |
| 2          | 5,20        | 12,60 | 21,10 | 24,00 | 85,00    | 126,00 | 131,00 |
| 3          | 4,40        | 11,70 | 20,30 | 24,10 | 86,00    | 118,00 | 130,00 |
| 4          | 4,80        | 12,00 | 21,30 | 25,70 | 93,00    | 128,00 | 140,00 |
| 5          | 4,70        | 12,50 | 21,50 | 24,70 | 92,00    | 133,00 | 140,00 |
| 6          | 4,90        | 12,80 | 21,80 | 26,60 | 95,00    | 131,00 | 144,00 |

Observações:

Tratamento 1 - Retirada total dos resíduos de colheita de corte raso anterior em eucalipto de 12 anos

Tratamento 2 - Manutenção de todos os resíduos do corte raso anterior

Tratamento 3 - Manutenção de parte dos resíduos do corte raso anterior (galhos abaixo de 3 cm de diâmetro)

Tratamento 4 - Mesmo manejo dos resíduos da colheita do tratamento 3 e adição de 7,5 t ha<sup>-1</sup> de resíduo celulósico e 2 t ha<sup>-1</sup> de cinzas

Tratamento 5 - Mesmo manejo dos resíduos da colheita do tratamento 3 e adição de 15 t ha<sup>-1</sup> de resíduo celulósico e 4 t ha<sup>-1</sup> de cinzas

Tratamento 6 - Retirada total dos resíduos da colheita e adição de resíduo celulósico e cinzas na mesma quantidade usada no tratamento 5

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2008).

Em outra pesquisa desenvolvida em Limeira-SP, em que se aplicou efluente de indústria cítrica na irrigação de eucalipto da variedade *grandis*, não se observou diferença significativa no desenvolvimento do eucalipto, porém, verificou-se uma situação de homogeneidade no crescimento da planta (CARRARO, 1995).

Conforme GRUBER (2006), a produção de matéria seca total do eucalipto cresce com o aumento da quantidade de água aplicada. Dessa forma, a irrigação pode proporcionar o aumento na biomassa da planta, além de reduzir o tempo para colheita.

### **3.6 Diretrizes e Padrões**

Existem poucas referências de legislação e normas a respeito da utilização de efluentes, na forma de reuso na agricultura.

Um das referências é a RESOLUÇÃO nº 54, do CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos), datada de 28 de novembro de 2005, a qual estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água. Na resolução é definido que o reuso direto não potável de água, abrange as seguintes modalidades:

I - reuso para fins urbanos: utilização de água de reuso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana;

II - reuso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reuso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;

III - reuso para fins ambientais: utilização de água de reuso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;

IV - reuso para fins industriais: utilização de água de reuso em processos, atividades e operações industriais; e,

V - reuso na aquicultura: utilização de água de reuso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

A RESOLUÇÃO CNRH nº 54 também estabelece que as diretrizes, critérios e parâmetros específicos para as modalidades de reuso sejam estabelecidos pelos órgãos competentes.

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) por meio da NBR-13.969/97 referente a “Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação” define que o esgoto tratado poderá ser utilizado para todos os usos que o usuário precisar, tais como lavagens de pisos, calçadas, irrigação de jardins e pomares, manutenção da água nos canais e lagos dos jardins, nas descargas dos banheiros, etc. Não deve ser permitido o uso, mesmo desinfetado, para irrigação das hortaliças e frutas de ramos rastejantes (por exemplo, melão e melancia). Admite-se seu reuso para plantações de milho, arroz, trigo, café e outras árvores frutíferas, via escoamento no solo, tomando-se o cuidado de interromper a irrigação pelo menos 10 dias antes da colheita.

No ano de 2006 a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), empresa do Governo do Estado de São Paulo responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição, publicou a Instrução técnica nº 31, no intuito de criar procedimentos internos para disciplinar a prática de reuso de efluente proveniente de estação de tratamento de esgoto sanitário. Na resolução existem alguns condicionantes em relação à área a ser utilizada para o reuso:

- Não deve estar em áreas de preservação permanente – APP ou de reserva legal;

- Não deve estar em zona de proteção de poços, não estar em áreas de proteção máxima de aquífero e áreas de proteção aos mananciais;
- Deve estar afastada 50 metros de vias de domínio público, em irrigação de culturas, afastamento de, no mínimo, 500 metros de núcleos populacionais, afastamento de 200 metros de cursos d'água e coleções hídricas;
- A profundidade mínima do nível do aquífero freático na área irrigada é de 3 metros;
- A declividade máxima de até 15% para a área destinada à irrigação.

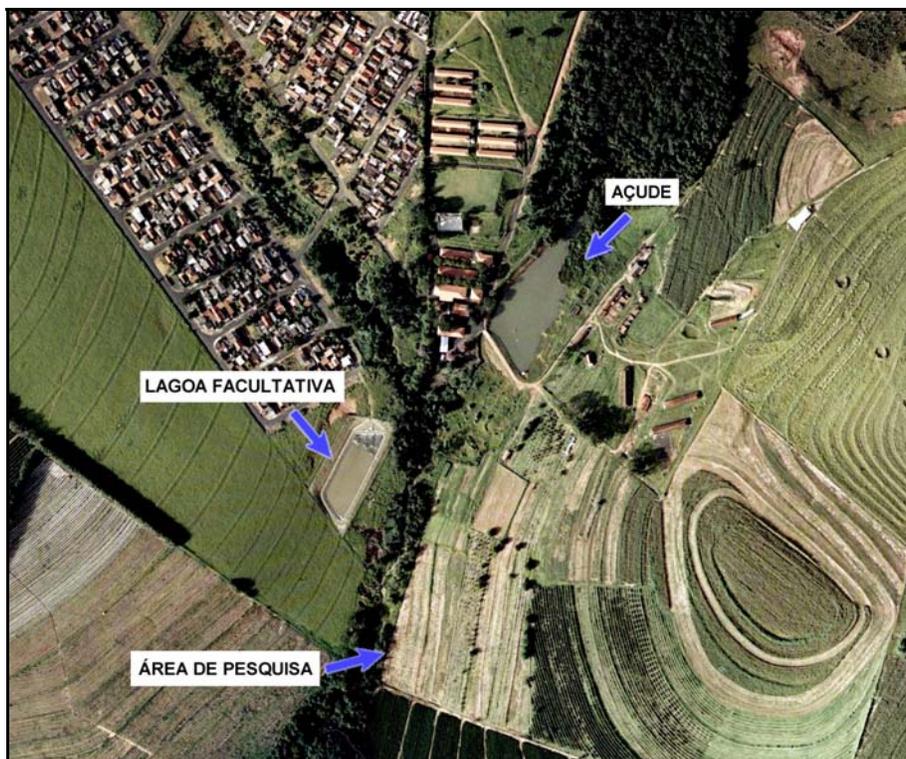
## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Localização do Experimento**

A pesquisa foi desenvolvida na UGRHI 08 (Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos Sapucaí/Grande), no município de Franca-SP, em uma área cedida pela Escola Técnica Estadual Professor Carmelino Correa Junior (Colégio Agrícola), unidade escolar ligada ao Centro Paula Souza. Toda área cedida perfaz um montante de aproximadamente 18.000 m<sup>2</sup>. As coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator – sistema de coordenadas) de um dos pontos da área do experimento são 249.764 m E, 7.735.225 m N e altitude de 975 m. O solo é classificado como Neossolo Quartzarênico, conforme a EMBRAPA (2006). A topografia do local é plana a suavemente ondulada. O levantamento planimétrico foi feito com aparelho de GPS (Global Positioning System). A localização da área do experimento é apresentada na Figura 4.1.

O Clima no local do experimento com base na classificação climática proposta por Köppen é do tipo Cwb (temperado úmido com estação seca). A precipitação média anual excede 1.500 mm, o volume de chuva no mês mais seco é menor que 30 mm. A

temperatura média no mês mais quente é inferior a 22 °C e no mês mais frio é menor que 18 °C (IPT, 1999).



**Figura 4.1 - Imagem aérea com a localização da área experimental**  
(Fonte: BASE, 2003)

## **4.2 Instalação da Pesquisa**

### **4.2.1 Limpeza da área e controle de formigas**

No local da pesquisa existia uma plantação de milho que foi retirada por meio de trator, com colhedeira e carreta (Figura 4.2).

Logo após a retirada do milho, foi aplicado o herbicida glyphosato em toda área do experimento para eliminação das ervas daninhas e aplicado o herbicida 2,4 D em pontos isolados com infestação de ervas de folhas larga, que apresentaram resistência

ao primeiro herbicida. A aplicação dos herbicidas foi realizada por meio de bomba costal (Figura 4.3).

O controle das formigas foi efetuado por meio de formicida granulado (princípio ativo Sulfluramida Atta-Kill) aplicando o mesmo próximo aos carreiros encontrados e também do formicida líquido (princípio ativo Fipronil) aplicando-o diretamente no olheiro.



**Figura 4.2 - Limpeza da área experimental (retirada do milho)**  
(Fonte: AUTOR, 2007)



**Figura 4.3 - Aplicação de herbicida na área do experimento**  
(Fonte: AUTOR, 2007)

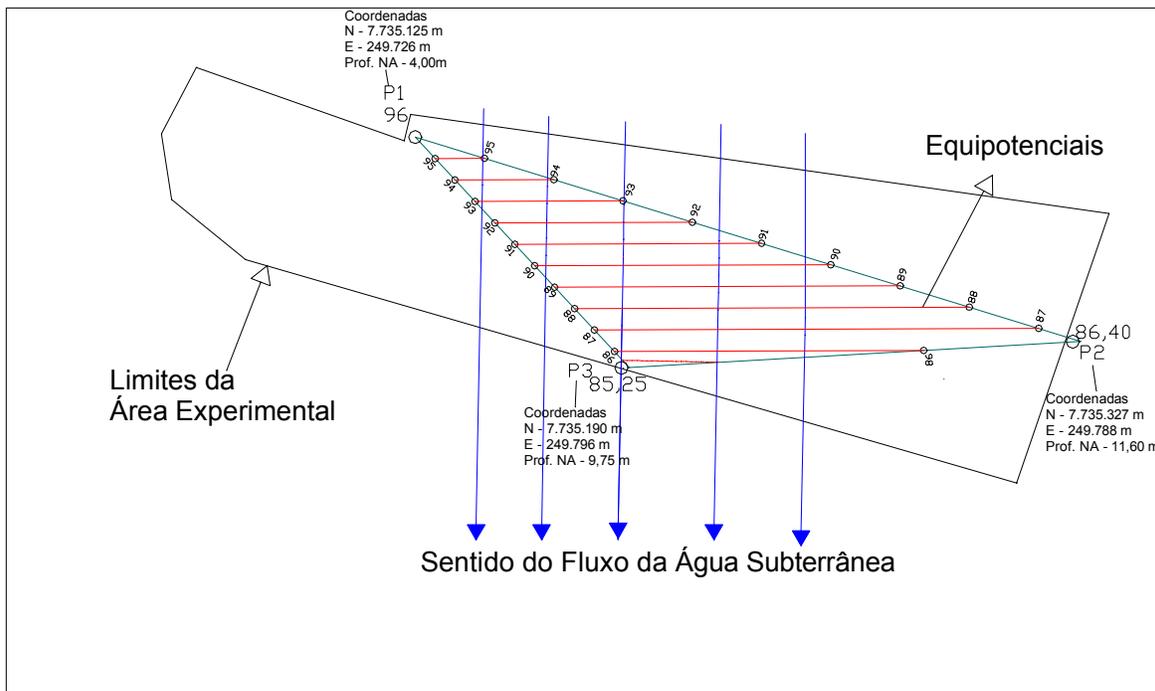
## 4.2.2 Delineamento experimental

Para definição do posicionamento das parcelas foi necessário verificar o sentido de fluxo da água subterrânea, para cujo processo foi realizada a investigação do subsolo por meio do método de sondagem (SPT). Executaram-se 3 perfurações não alinhadas e obtiveram-se as informações apresentadas na Tabela 4.1 e detalhadas na Figura 4.4.

A partir das informações obtidas na sondagem, foi realizado o levantamento altimétrico do terreno e determinadas as linhas equipotenciais do lençol freático, obtendo-se assim o direcionamento do fluxo da água subterrânea. Em função desse sentido definiu-se o posicionamento das parcelas.

**Tabela 4.1 - Resultados das perfurações de sondagem**

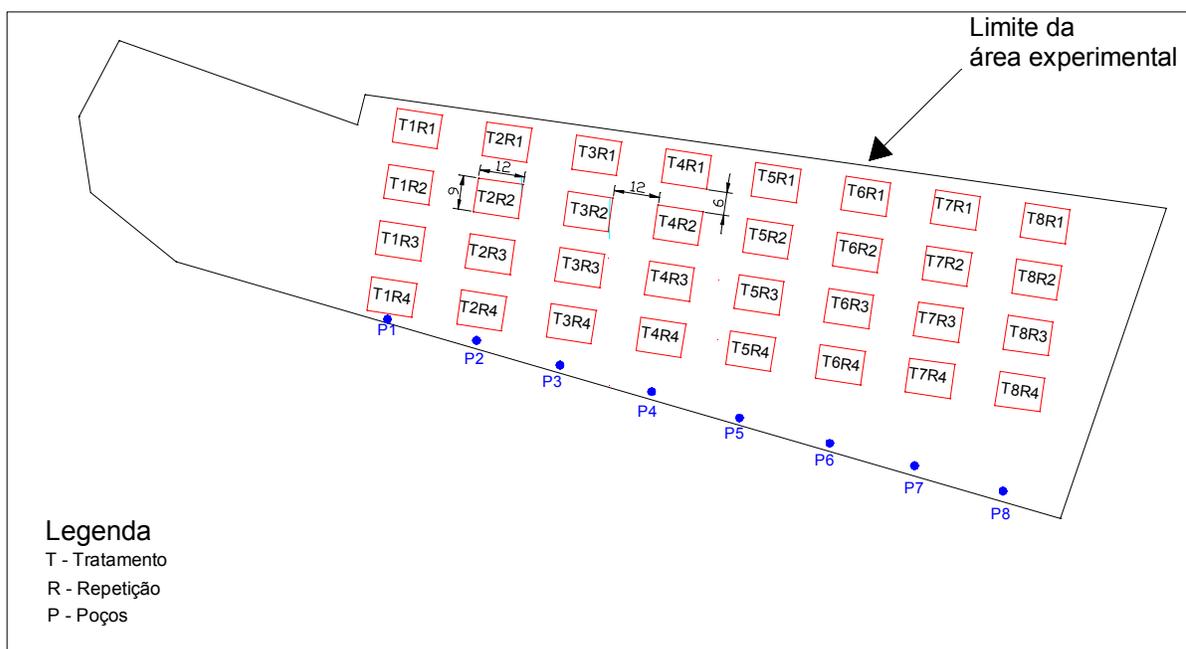
| Perfuração | Nível da Água -<br>Profundidade em<br>relação a superfície (m) | Coordenadas |         | Altitude (m) |
|------------|--|-------------|---------|--------------|
|            |  | N(m)        | E(m)    |              |
| 1          | 4,00   | 7.735.125   | 249.726 | 974          |
| 2          | 11,60  | 7.735.327   | 249.788 | 972          |
| 3          | 9,75   | 7.735.190   | 249.796 | 969          |



**Figura 4.4 - Representação das linhas equipotenciais e sentido de fluxo da água subterrânea**  
(Fonte: AUTOR, 2007)

Depois de definida a posição das parcelas, as mesmas foram demarcadas: no total foram 8 tratamentos, com 4 repetições cada, totalizando 32 parcelas. Para o seu estabelecimento, foram consideradas as linhas de fluxo da água subterrânea, a qual fazia parte do escopo da avaliação do impacto da irrigação, utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados.

Conforme pode ser observado na Figura 4.5, cada parcela contou com uma área de  $108 \text{ m}^2$  ( $9 \text{ m} \times 12 \text{ m}$ ), entre as parcelas de um mesmo tratamento foi delineada uma bordadura de  $72 \text{ m}^2$  ( $6 \text{ m} \times 12 \text{ m}$ ) e entre as parcelas de tratamentos diferentes uma bordadura de  $108 \text{ m}^2$  ( $9 \text{ m} \times 12 \text{ m}$ ).



**Figura 4.5 - Delineamento experimental implantado**  
(Fonte: AUTOR, 2007)

Os tratamentos implantados na pesquisa foram irrigados e adubados, conforme a Tabela 4.2.

**Tabela 4.2 - Formas de irrigação e adubação dos tratamentos implantados**

| Tratamento | Quantidade de água/efluente                        | Adubação     |
|------------|--|--------------|
| T1         | Água – necessidade hídrica do eucalipto            | Sem adubação |
| T2         | Água – necessidade hídrica do eucalipto            | NPK + B + Zn |
| T3         | Efluente – 1/3 da necessidade hídrica do eucalipto | NPK + B + Zn |
| T4         | Efluente – 1/2 da necessidade hídrica do eucalipto | NPK + B + Zn |
| T5         | Efluente – necessidade hídrica do eucalipto        | NPK + B + Zn |
| T6         | Efluente – necessidade hídrica do eucalipto        | Sem adubação |
| T7         | Efluente – 1,5 necessidade hídrica do eucalipto    | NPK + B + Zn |
| T8         | Sem irrigação                                      | Sem adubação |

### 4.2.3 Adubação e plantio

Foram coletadas amostras de solo para realização de uma amostragem composta de toda a área. Em seguida foi feita a análise de fertilidade do solo, na camada 0,00 - 0,20 m. De posse deste resultado, foi verificado, na ocasião, ser desnecessário efetuar a calagem, conforme recomendação do Boletim 100 do IAC.

Após a demarcação das parcelas, executaram-se os sulcos para adubação, utilizando um trator do tipo cafeeiro com o arado acoplado (Figura 4.6). Os sulcos foram direcionados de acordo com a topografia do terreno.



**Figura 4.6 - Abertura dos sulcos para adubação na área de plantio de eucalipto**  
(Fonte: AUTOR, 2007)

As parcelas (dos tratamentos adubados) receberam adubação manual, sendo aplicadas em cada linha de plantio, dentro de cada parcela, as quantidades determinadas conforme a análise química da área e também com base no protocolo de adubação utilizado pela VCP (Votorantim Celulose e Papel), sendo 200 kg ha<sup>-1</sup> de 6:30:6 (NPK). Também foram aplicados os micronutrientes Boro e Zinco na quantidade

de 3,30 kg ha<sup>-1</sup> cada. Para a aplicação dos micronutrientes, os sais foram previamente pesados e diluídos em água, permitindo assim uma aplicação mais precisa quantitativamente, em cada linha de cada parcela. Os adubos aplicados no experimento foram na formulação granulada e apresentaram como fontes: de Nitrogênio – Nitrato, de Fósforo – Super Fosfato Simples, de Potássio – Cloreto de Potássio, de Boro – Borogran (10% de B) e de Zinco – Zincogran (15% de Zn).

Foram realizadas adubações de cobertura (nos tratamentos que receberam adubação) após períodos de seis meses e um ano do plantio. As coberturas também foram executadas com base no protocolo de adubação utilizado pela VCP, aplicaram-se 200 gramas por planta de 6:30:6 (NPK).

As mudas utilizadas na pesquisa foram doadas pela VCP - Votorantim Celulose e Papel, do viveiro florestal da unidade de Capão Bonito, sendo clonadas da espécie *Eucalyptus urograndis*. Na Figura 4.7 são mostradas as mudas de eucalipto utilizadas na pesquisa. O plantio foi realizado no mês de abril de 2007, de forma manual, com o auxílio de cavadeira, utilizando-se o espaçamento de 3 m x 2 m, sendo 3 m nas entrelinhas e 2 m na linha. Portanto, cada parcela contava com 3 linhas e 6 plantas na mesma, perfazendo uma média de 18 plantas por parcela. Na Figura 4.8 é mostrado o plantio de uma muda de eucalipto na área da pesquisa.



**Figura 4.7 - Mudas de eucalipto utilizadas na pesquisa**  
(Fonte: AUTOR, 2007)



**Figura 4.8 - Plantio de eucalipto na área experimental**  
(Fonte: AUTOR, 2007)

#### **4.2.4 Instalação dos poços de monitoramento da água subterrânea**

Para o monitoramento da qualidade da água subterrânea foram perfurados 8 poços por meio de caminhão acoplado com perfuratriz. Os poços de monitoramento foram localizados a partir da determinação do fluxo da água subterrânea. A implantação dos poços foi realizada conforme a norma CETESB 6410 (1988) “Amostragem e monitoramento de águas subterrâneas”, tendo sido todos os poços desinfetados, por meio da correção de pH e da aplicação de hipoclorito de sódio, com dosagem determinada em laboratório, antes da irrigação. Foram coletadas amostras e verificados os atributos de qualidade de água, antes do início da aplicação de esgoto. Na Figura 4.9 é mostrado um dos poços de monitoramento instalados na pesquisa.



**Figura 4.9 - Poço de monitoramento de água subterrânea instalado no experimento**

(Fonte: AUTOR, 2007)

A qualidade da água subterrânea dos poços está sendo analisada por meio de outra pesquisa, que está sendo desenvolvida concomitantemente na área do experimento.

#### **4.2.5 Sistema de irrigação**

Até a implantação do sistema de irrigação, o eucalipto foi regado com água por meio de um trator e tanque acoplado.

Por uma questão de inovação tecnológica, optou-se por implantar um sistema de irrigação por aspersão, pois em várias pesquisas desenvolvidas utilizando efluente na irrigação (pesquisas em Limeira-SP e Franca-SP), havia sido testado o sistema de irrigação por sulcos de infiltração.

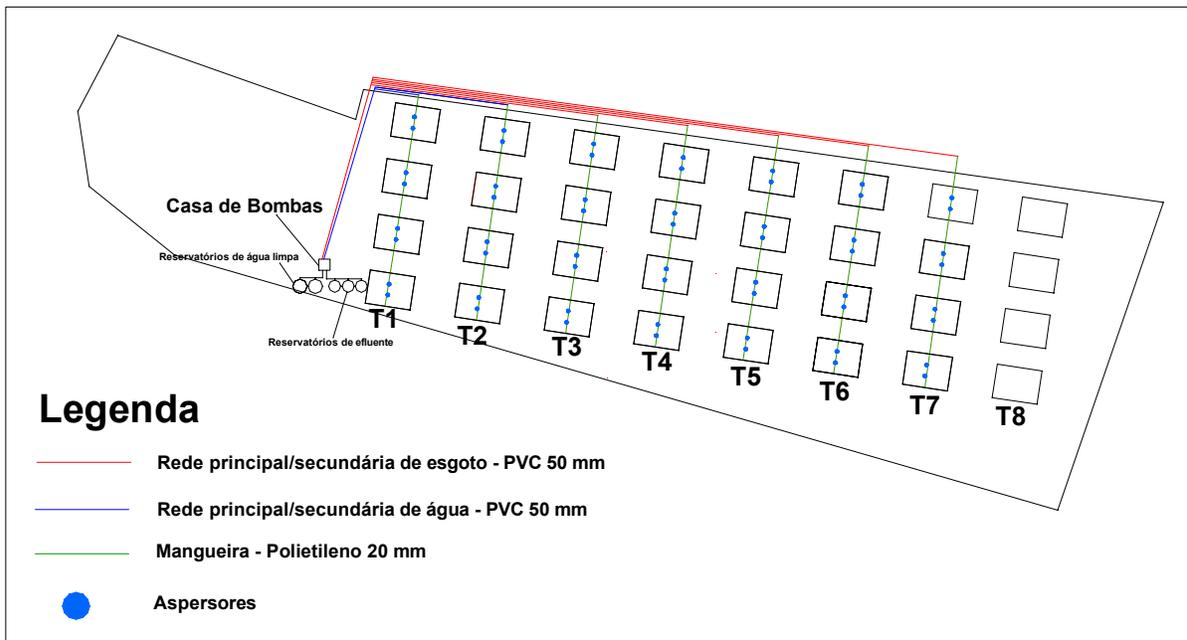
Devido às características do efluente optou-se pela utilização de materiais à base de PVC e outros não metálicos no sistema de irrigação. Esta medida também

reduziria problemas futuros de furtos, pois a área experimental é muito próxima da comunidade. Para instalação do sistema de irrigação, foi necessário executar as adutoras de água limpa da represa e do efluente da ETE City Petrópolis, que alimentam por gravidade os reservatórios implantados na pesquisa, sendo dois depósitos de 3.000 L cada um, ligados entre si para água limpa. E para o armazenamento de efluente foram instalados três depósitos de 2.000 L cada, interligados (Figura 4.11).

Dos reservatórios os líquidos são recalcados, por meio de redes independentes (água e esgoto) de PVC com diâmetro de 50 mm, por meio de 2 bombas multi-estágio, modelo P11/4, motor trifásico 220 W e 2,0 CV de potência. O sistema foi inicialmente projetado para uma pressão na rede de irrigação de 60 mca.

Inicialmente optou-se por irrigação com microaspersores, com a finalidade de reduzir a formação de aerossol. Porém, devido a alguns problemas, como a ocorrência de entupimentos frequentes, foi necessário substituí-los pelo aspersor tipo sub-copa de baixa pressão e diâmetro interno acentuado, tipo pingo setorial.

O sistema, como pode ser observado na Figura 4.10, foi implantado utilizando 2 aspersores por parcela, que são alimentados por tubos de polietileno de 20 mm de diâmetro, os quais derivam da rede secundária, exceto o tratamento 8, pois o mesmo não é irrigado (recebeu irrigação apenas nos primeiros dias após o transplante das mudas para o campo).



**Figura 4.10 - Croqui do sistema de irrigação implantado na área experimental**  
(Fonte: AUTOR, 2009)

O sistema de acionamento das bombas é manual. No intuito de proteger o sistema de recalque (bombas), foram implantados, nas tomadas de água e efluente, um filtro confeccionado com tela de nylon de malha 2,0 x 2,0 mm (tipo tela mosquiteiro) e também um filtro tipo Y na tubulação de entrada das bombas.

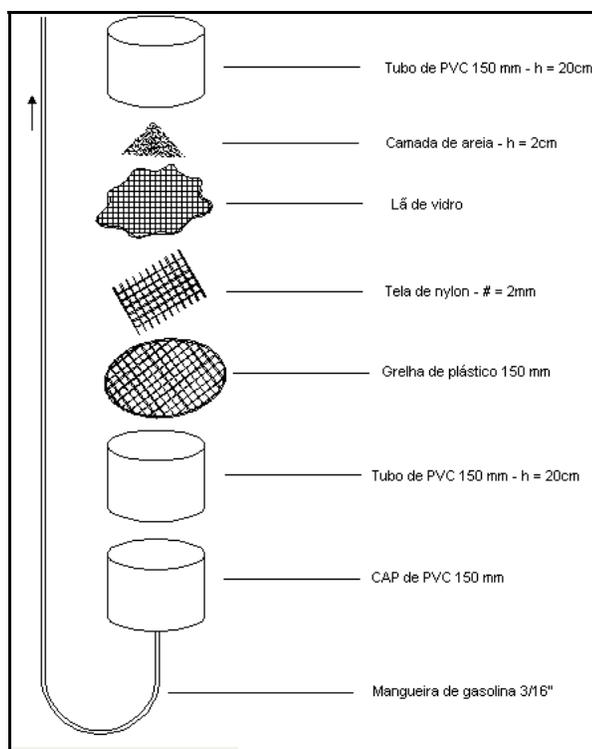


**Figura 4.11 - Reservatórios de água e efluente implantados na pesquisa**  
(Fonte: AUTOR, 2008)

#### 4.2.6 Instalação dos coletores de drenagem livre

Para o monitoramento da qualidade dos líquidos percolados, foram instalados, na linha central de plantio de cada parcela, 3 coletores de drenagem livre, com distância entre eles de aproximadamente 1,00 m e implantados a 0,30 m, 0,60 m e 0,90 m de profundidade.

Os coletores foram confeccionados utilizando tubos de PVC de diâmetro 150 mm, comprimento de 0,40 m (sendo 2 partes de 0,20 m). Na junção das 2 partes do tubo foi colocado um ralo e sobre este uma tela de “nylon” (tela mosquiteiro), lã de vidro e uma camada de areia de 2 cm de espessura. Para tamponamento do fundo do coletor foi acoplado um “cap” de PVC. Nesse conjunto de peças, foi conectada mangueira de borracha, para sucção do líquido armazenado nestes coletores. Na Figura 4.12 pode ser observado o esquema de montagem dos coletores.



**Figura 4.12 - Esquema dos coletores de drenagem**  
(Fonte: AUTOR, 2009)

A escavação do terreno para instalação dos coletores foi executada por meio de cavadeira manual, instalando-se, posteriormente, nas devidas profundidades, aferidas a partir da superfície do solo até a extremidade superior do coletor. Os furos contendo os coletores foram aterrados com o mesmo solo retirado na escavação, sendo o mesmo compactado manualmente. Na Figura 4.13 é mostrada a instalação de um dos coletores.



**Figura 4.13 - Instalação de um coletor no experimento. Colégio Agrícola, Franca/SP**  
(Fonte: AUTOR, 2007)

### 4.3 Caracterização e Capacidade de Retenção de Água do Solo

De acordo com as análises físicas e químicas da área do experimento, o solo foi classificado como Neossolo Quartzarênico, conforme a classificação da EMBRAPA (2006). Nas tabelas 4.3, 4.4 e 4.5 a seguir são apresentados os resultados das características químicas e físicas do solo no local do experimento.

**Tabela 4.3 - Resultados das análises de fertilidade do solo e metais em amostras na área experimental.**

| Parâmetro | Unidade                            | Profundidade (m) |         |         |         |          |
|-----------|------------------------------------|------------------|---------|---------|---------|----------|
|           |                                    | 0-0,2            | 0,2-0,4 | 0,4-0,6 | 0,6-0,8 | 0,8-1,00 |
| M.O .     | g dm <sup>3-</sup>                 | 25               | 22      | 16      | 14      | 13       |
| pH        |                                    | 5,7              | 5,5     | 5,5     | 5,6     | 5,8      |
| P         | mg dm <sup>3-</sup>                | 20               | 8       | 3       | 1       | 1        |
| K         | mmol <sub>c</sub> dm <sup>3-</sup> | 0,9              | 1,3     | 0,9     | 0,4     | 0,4      |
| Ca        | mmol <sub>c</sub> dm <sup>3-</sup> | 21               | 17      | 9       | 6       | 6        |
| Mg        | mmol <sub>c</sub> dm <sup>3-</sup> | 7                | 6       | 3       | 2       | 2        |
| H + Al    | mmol <sub>c</sub> dm <sup>3-</sup> | 16               | 18      | 16      | 15      | 13       |
| S.B.      | mmol <sub>c</sub> dm <sup>3-</sup> | 28,9             | 24,3    | 12,9    | 8,4     | 8,4      |
| C.T.C.    | mmol <sub>c</sub> dm <sup>3-</sup> | 45,3             | 42,5    | 29,3    | 23,2    | 21,7     |
| V%        | %                                  | 64               | 57      | 44      | 36      | 39       |
| B         | mg dm <sup>3-</sup>                | 0,2              | 0,2     | 0,2     | 0,2     | 0,1      |
| Cu        | mg dm <sup>3-</sup>                | 2,1              | 3       | 1       | 0,5     | 0,4      |
| Fe        | mg dm <sup>3-</sup>                | 17               | 16      | 12      | 7       | 5        |
| Mn        | mg dm <sup>3-</sup>                | 1,8              | 1,2     | 0,3     | 0,2     | 0,2      |
| Zn        | mg dm <sup>3-</sup>                | 13,1             | 10,2    | 4,4     | 1,7     | 1,2      |
| Cd        | mg dm <sup>3-</sup>                | 0,04             | 0,03    | < 0,01  | < 0,01  | < 0,01   |
| Cr        | mg dm <sup>3-</sup>                | < 0,01           | < 0,01  | < 0,01  | < 0,01  | < 0,01   |
| Ni        | mg dm <sup>3-</sup>                | 0,06             | 0,04    | 0,02    | 0,01    | < 0,01   |
| Pb        | mg dm <sup>3-</sup>                | 2,77             | 2,22    | 0,76    | 0,36    | 0,3      |

A análise granulométrica da terra fina foi realizada pelo método da pipeta, utilizando-se solução de NaOH 0,1 N como dispersante químico e agitação com aparato de baixa rotação (Embrapa, 1997).

**Tabela 4.4 - Resultados das análises granulométricas de amostras de solo**

| Material | Tratamentos - % do material |    |    |    |    |    |    |    |
|----------|-----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
|          | T1                          | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 |
| Areia    | 70                          | 71 | 71 | 72 | 71 | 72 | 71 | 71 |
| Silte    | 22                          | 21 | 21 | 20 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| Argila   | 8                           | 8  | 8  | 8  | 8  | 7  | 8  | 8  |

\*Médias entre parcelas na profundidade 0,00-0,20 m.

A densidade de partícula foi obtida pelo método do balão volumétrico (FORSYTHE, 1971).

Para determinação da densidade e porosidade do solo foram coletadas amostras indeformadas com anéis volumétricos de 0,04 m de altura e 0,05 m de diâmetro, a microporosidade foi determinada em mesa de tensão e corresponde à umidade volumétrica da amostra submetida a uma tensão de 0,006 MPa, após a saturação (EMBRAPA, 1997). A porosidade total e a densidade solo foram obtidas segundo a EMBRAPA (1997), e a macroporosidade por diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

**Tabela 4.5 - Resultados da porosidade e da densidade solo**

| Tratamento | Profundidade (m) | Valores médios                               |       |       | Densidade do solo (kg/m <sup>3</sup> ) |
|------------|------------------|--|-------|-------|--|
|            |                  | Porosidade (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ) |       |       |  |
|            |                  | Total  | micro | macro |  |
| T1         | 0 - 0,05         | 0,40   | 0,21  | 0,19  | 1450                                   |
|            | 0,05 - 0,10      | 0,39   | 0,21  | 0,17  | 1535                                   |
|            | 0,15 - 0,20      | 0,39   | 0,22  | 0,17  | 1470                                   |
| T2         | 0 - 0,05         | 0,39   | 0,24  | 0,15  | 1498                                   |
|            | 0,05 - 0,10      | 0,36   | 0,17  | 0,19  | 1575                                   |
|            | 0,15 - 0,20      | 0,37   | 0,23  | 0,14  | 1549                                   |
| T3         | 0 - 0,05         | 0,39   | 0,23  | 0,15  | 1525                                   |
|            | 0,05 - 0,10      | 0,35   | 0,24  | 0,11  | 1598                                   |
|            | 0,15 - 0,20      | 0,36   | 0,21  | 0,15  | 1574                                   |
| T4         | 0 - 0,05         | 0,37   | 0,18  | 0,19  | 1509                                   |
|            | 0,05 - 0,10      | 0,37   | 0,21  | 0,16  | 1542                                   |
|            | 0,15 - 0,20      | 0,38   | 0,20  | 0,18  | 1494                                   |
| T5         | 0 - 0,05         | 0,36   | 0,22  | 0,14  | 1529                                   |
|            | 0,05 - 0,10      | 0,38   | 0,22  | 0,16  | 1556                                   |
|            | 0,15 - 0,20      | 0,35   | 0,21  | 0,14  | 1550                                   |
| T6         | 0 - 0,05         | 0,37   | 0,22  | 0,15  | 1536                                   |
|            | 0,05 - 0,10      | 0,36   | 0,23  | 0,13  | 1565                                   |
|            | 0,15 - 0,20      | 0,37   | 0,22  | 0,15  | 1556                                   |
| T7         | 0 - 0,05         | 0,37   | 0,22  | 0,14  | 1530                                   |
|            | 0,05 - 0,10      | 0,38   | 0,22  | 0,15  | 1525                                   |
|            | 0,15 - 0,20      | 0,37   | 0,28  | 0,10  | 1519                                   |
| T8         | 0 - 0,05         | 0,38   | 0,21  | 0,17  | 1516                                   |
|            | 0,05 - 0,10      | 0,36   | 0,21  | 0,15  | 1560                                   |
|            | 0,15 - 0,20      | 0,35   | 0,24  | 0,11  | 1581                                   |

A determinação da necessidade hídrica da planta foi estabelecida em função dos ensaios físicos e da determinação da curva de retenção de água. Foram coletadas amostras indeformadas e os resultados estão descritos na Tabela 4.6. Para a coleta, foi utilizado extrator Uhland; para amostra não deformada, foram retiradas amostras nas profundidades 0,00 – 0,20; 0,20 – 0,40; 0,40 – 0,60 e 0,60 – 0,80 m, encaminhadas ao laboratório de solos da FEAGRI/UNICAMP e foram obtidas as densidades de partícula (relação entre massa e volume), e a densidade do solo, que é a relação entre a massa de uma amostra de solo seco a 110 °C e o volume dessa amostra não deformada, incluindo os espaços ocupados pelo ar e pela água. As amostras de solo foram criteriosamente coletadas e devidamente identificadas, colocadas em latas de alumínio, vedadas com fita adesiva, acondicionadas em caixas e protegidas, para evitar sua

deformação durante o transporte. Em função dos resultados, foi calculada a lâmina de irrigação, sendo considerada uma aplicação de 7 mm, como suficiente para as necessidades hídricas das plantas e para o primeiro estágio de desenvolvimento.

A lâmina de água a ser aplicada deveria corresponder com à umidade determinada em amostras de solo, na profundidade de instalação dos tensiômetros, 0,30; 0,60 e 0,90 m. Esta medida confirmou que a lâmina aplicada foi suficiente para atender às necessidades hídricas das plantas, sem percolação de água na profundidade de 0,90 m, indicando que a lamina calculada correspondeu com às determinações em campo, para atender a uma necessidade hídrica, conforme a proposta do tratamento 6. Estas determinações e o monitoramento foram importantes para o correto estabelecimento da cultura, da aplicação da lâmina hídrica e para evitar a poluição do lençol freático.

**Tabela 4.6 - Resultados da densidade do solo**

| Ponto 1         |   | Ponto 2         |   |
|-----------------|---|-----------------|---|
| Profundidade(m) | Densidade do solo<br>(Kg dm <sup>-3</sup> ) | Profundidade(m) | Densidade do solo<br>(Kg dm <sup>-3</sup> ) |
| 0,00 a 0,20     | 153   | 0,00 a 0,20     | 152   |
| 0,20 a 0,40     | 149   | 0,20 a 0,40     | 167   |
| 0,40 a 0,60     | 143   | 0,40 a 0,60     | 157   |
| 0,60 a 0,80     | 148   | 0,60 a 0,80     | 157   |

Na Tabela 4.7 são apresentados os resultados da determinação da capacidade de retenção de água no solo no local do experimento.

**Tabela 4.7 – Resultados da determinação da capacidade de retenção de água no solo**

| Camada 0,00 – 0,20 m       |                              |   |   |            |         |          |
|----------------------------|------------------------------|---|---|------------|---------|----------|
| CC<br>(g g <sup>-1</sup> ) | Ds<br>(Kg dm <sup>-3</sup> ) | CC<br>(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) | PM<br>(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) | CC<br>(mm) | PM (mm) | CAD (mm) |
| 0,15                       | 153                          | 0,23                                      | 0,16                                      | 45,90      | 32,74   | 13       |
| Camada 0,20 – 0,40 m       |                              |   |   |            |         |          |
| CC<br>(g g <sup>-1</sup> ) | Ds<br>(Kg dm <sup>-3</sup> ) | CC<br>(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) | PM<br>(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) | CC<br>(mm) | PM (mm) | CAD (mm) |
| 0,14                       | 149                          | 0,21                                      | 0,13                                      | 41,72      | 26,82   | 15       |
| Camada 0,40 – 0,60 m       |                              |   |   |            |         |          |
| CC<br>(g g <sup>-1</sup> ) | Ds<br>(Kg dm <sup>-3</sup> ) | CC<br>(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) | PM<br>(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) | CC<br>(mm) | PM (mm) | CAD (mm) |
| 0,13                       | 143                          | 0,19                                      | 0,13                                      | 37,75      | 25,74   | 12       |
| Camada 0,60 – 0,80 m       |                              |   |   |            |         |          |
| CC<br>(g g <sup>-1</sup> ) | Ds<br>(Kg dm <sup>-3</sup> ) | CC<br>(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) | PM<br>(cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) | CC<br>(mm) | PM (mm) | CAD (mm) |
| 0,14                       | 148                          | 0,21                                      | 0,15                                      | 42,03      | 30,19   | 12       |

Sendo:

Ds = densidade do solo;

CC = umidade do solo na capacidade de campo;

PM = ponto de murcha permanente;

CAD = Capacidade de água disponível no solo (diferença entre CC e PM).

O cálculo do CAD nos diferentes estágios de crescimento foi executado utilizando o fator de disponibilidade  $f=0,60$  da água total.

Para o levantamento das curvas de retenção de água (Figuras 4.14 e 4.15) foram coletadas amostras em um ponto por parcela em anéis do tipo Köpeck nas profundidades de 0,00-0,05 m; 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m, para um total de 108 amostras e levadas na câmara de pressão de Richards. A partir dos dados e umidade para cada  $\psi_m$  mensurado (0, 1, 2, 6, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 300 e 1500 KPa), promovendo o ajuste dos pontos por meio do modelo matemático desenvolvido por VAN GENUCHTEN (1980), mediante o programa Soil Water Retention Curve.

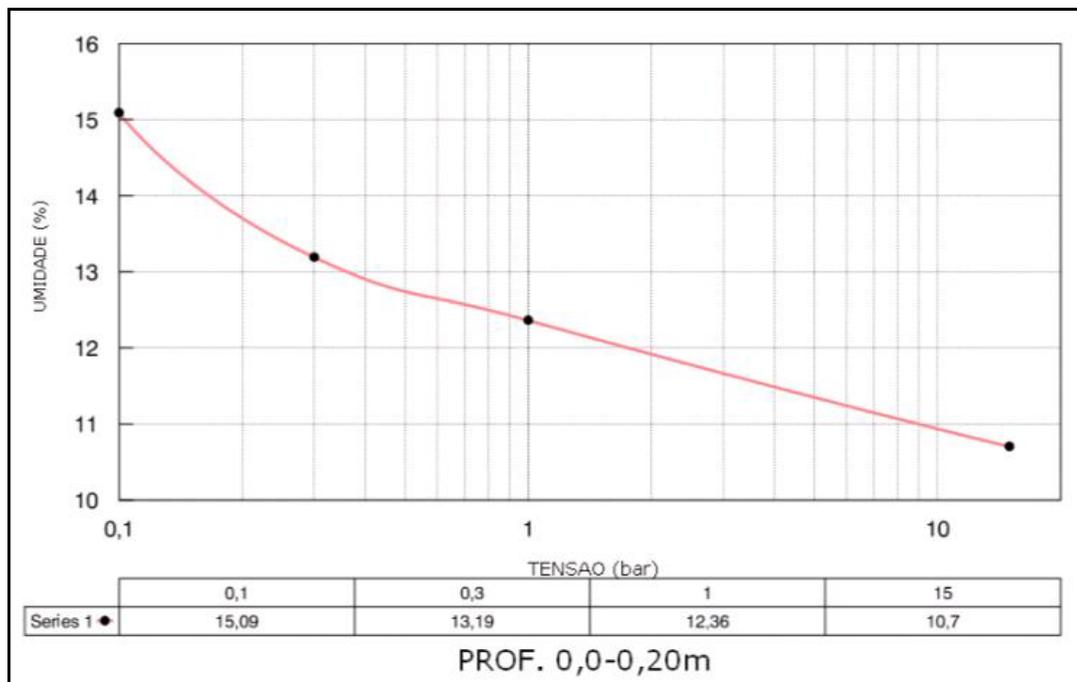


Figura 4.14 - Curva de retenção de água do solo para profundidade de 0,00 a 0,20 m.

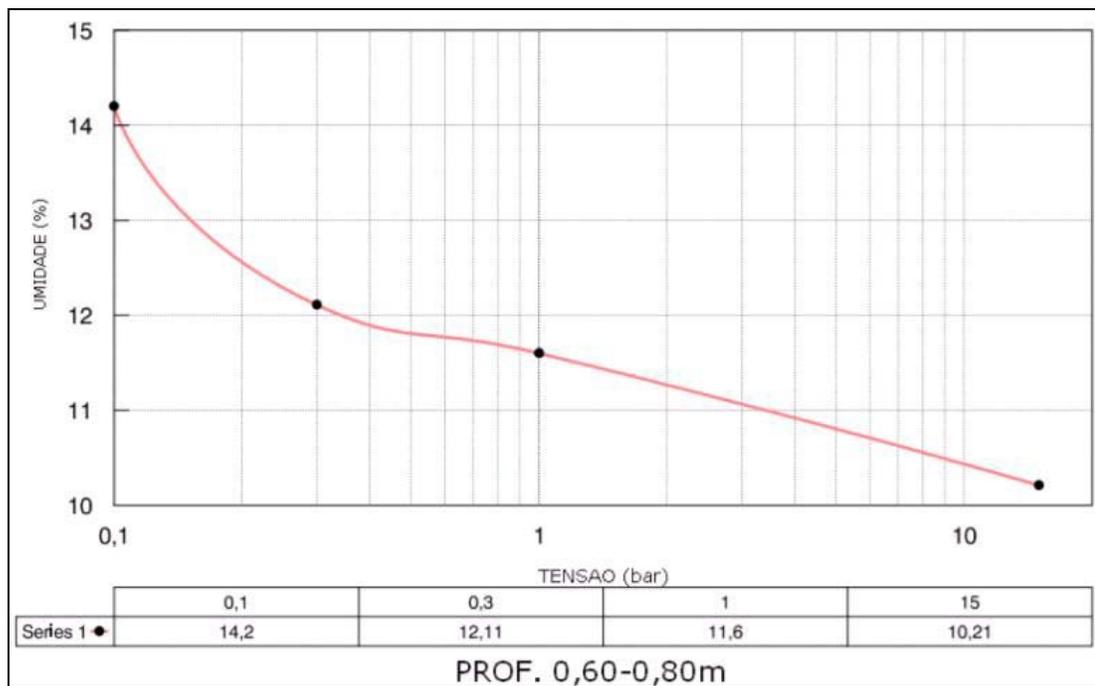


Figura 4.15 - Curva de retenção de água do solo para profundidade de 0,60 a 0,80 m.

#### 4.4 Irrigação e Precipitações Pluviométricas

Os dados referentes às precipitações pluviométricas foram rigorosamente registrados por meio da leitura dos índices (pluviométricos) em um pluviômetro instalado nas proximidades do campo experimental.

Os tratamentos irrigados receberam água ou efluente de 2 a 4 dias na semana. Na Tabela 4.8 é apresentada a síntese das lâminas aplicadas e das precipitações naturais no período.



**Figura 4.16 – Pluviômetro instalado próximo à área experimental**  
(Fonte: AUTOR, 2008)

**Tabela 4.8 - Resumo da pluviometria e das lâminas de irrigação**

| Meses           | Pluviometria Natural (mm) | Irrigação c/ água (mm) |                | Irrigação c/ efluente (mm) |                |                |                |                |
|-----------------|---------------------------|------------------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                 |                           | T1                     | T2             | T3                         | T4             | T5             | T6             | T7             |
| jan/08          | 340,0                     | 28,0                   | 28,0           | 9,3                        | 28,0           | 28,0           | 28,0           | 42,0           |
| fev/08          | 225,7                     | 28,0                   | 28,0           | 9,3                        | 28,0           | 28,0           | 28,0           | 42,0           |
| mar/08          | 181,8                     | 66,5                   | 42,0           | 18,6                       | 28,0           | 40,3           | 98,0           | 147,0          |
| abr/08          | 165,4                     | 70,0                   | 56,0           | 37,2                       | 56,0           | 94,5           | 136,5          | 182,0          |
| mai/08          | 19,4                      | 126,0                  | 70,0           | 27,9                       | 42,0           | 63,0           | 70,0           | 126,0          |
| jun/08          | 42,0                      | 196,0                  | 182,0          | 65,2                       | 112,0          | 182,0          | 308,0          | 196,0          |
| jul/08          | -                         | 238,0                  | 238,0          | 74,5                       | 126,0          | 206,5          | 238,0          | 350,0          |
| ago/08          | 5,0                       | 238,0                  | 238,0          | 83,8                       | 126,0          | 220,5          | 224,0          | 336,0          |
| set/08          | 30,0                      | 238,0                  | 238,0          | 74,5                       | 112,0          | 245,0          | 182,0          | 294,0          |
| out/08          | 63,3                      | 238,0                  | 238,0          | 83,8                       | 126,0          | 262,5          | 252,0          | 336,0          |
| nov/08          | 224,9                     | 210,0                  | 210,0          | 65,2                       | 112,0          | 210,0          | 308,0          | 280,0          |
| dez/08          | 409,9                     | 168,0                  | 168,0          | 55,9                       | 84,0           | 168,0          | 168,0          | 252,0          |
| <b>Subtotal</b> | <b>1.707,4</b>            | <b>1.844,5</b>         | <b>1.736,0</b> | <b>605,2</b>               | <b>980,0</b>   | <b>1.748,3</b> | <b>2.040,5</b> | <b>2.583,0</b> |
| jan/09          | 382,0                     | -                      | -              | -                          | -              | -              | -              | -              |
| fev/09          | 235,0                     | -                      | -              | 65,2                       | 84,0           | 168,0          | 168,0          | 252,0          |
| mar/09          | 187,0                     | 70,0                   | 70,0           | 84,0                       | 112,0          | 206,5          | 238,0          | 322,0          |
| abr/09          | 54,0                      | 196,0                  | 196,0          | 74,5                       | 112,0          | 206,5          | 196,0          | 294,0          |
| mai/09          | 92,9                      | 196,0                  | 196,0          | 73,5                       | 112,0          | 206,5          | 210,0          | 308,0          |
| jun/09          | 28,7                      | 182,0                  | 182,0          | 73,5                       | 112,0          | 206,5          | 196,0          | 294,0          |
| <b>Subtotal</b> | <b>979,6</b>              | <b>644,0</b>           | <b>644,0</b>   | <b>370,7</b>               | <b>532,0</b>   | <b>994,0</b>   | <b>1.008,0</b> | <b>1.470,0</b> |
| <b>Total</b>    | <b>2.687,0</b>            | <b>2.488,5</b>         | <b>2.380,0</b> | <b>975,8</b>               | <b>1.512,0</b> | <b>2.742,3</b> | <b>3.048,5</b> | <b>4.053,0</b> |

Para monitorar a quantidade de água aplicada na irrigação e consequentemente a umidade do solo, foram instalados tensiômetros a 0,30; 0,60 e 0,90 m de profundidade, em uma parcela de cada tratamento, na Figura 4.17 é apresentado um tensiômetro instalado na pesquisa.

O tensiômetro é utilizado para determinar a umidade atual e o armazenamento de água no solo. Esse aparelho mede a tensão de água ou potencial matricial do solo, que pode ser convertido para umidade do solo. O tensiômetro é constituído por um tubo plástico com um vacuômetro e um tampão conectados na parte superior e, uma cápsula de cerâmica porosa instalada na sua extremidade inferior.

Segundo Neto et al. (2007), quando o tensiômetro se encontra instalado adequadamente no campo, a água do seu interior entra em contato com a do solo, por meio dos poros da cápsula porosa e, o equilíbrio tende a se estabelecer. À medida que

ocorre a evapotranspiração, a umidade do solo diminui e reduz a pressão dentro do tensiômetro, a qual é medida no vacuômetro. No entanto, quando chove ou ocorre irrigação, a umidade do solo aumenta e, o equilíbrio entre as águas do solo e do tensiômetro tende a ser novamente estabelecido, elevando a pressão hidrostática no interior do equipamento. As tensões medidas no tensiômetro variam de 0 (condição de solo saturado) a 0,75 atm (75 kPa).

A leitura das medições dos tensiômetros foi monitorada antes e depois de cada período de irrigação, no intuito de verificar se as lâminas hídricas aplicadas estavam adequadas à necessidade da planta.



**Figura 4.17 - Tensiômetro instalado na área experimental**  
(Fonte: AUTOR, 2008)

#### **4.5 Caracterização dos Afluentes, Efluentes e da Água Utilizados na Irrigação**

No experimento foram utilizados para irrigação o efluente sanitário da Estação de Tratamento de Esgotos do bairro City Petrópolis e também a água da represa

situada na Escola Técnica Estadual Professor Carmelino Correa Junior (Colégio Agrícola).

O sistema de tratamento de esgotos do bairro City Petrópolis é operado pela concessionária Sabesp e composto por pré-tratamento (gradeamento e caixa de areia) e lagoa facultativa (que é mostrada na Figura 4.18). O volume da lagoa é de 6.741 m<sup>3</sup>, a vazão estimada é de 3 l s<sup>-1</sup> (268 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>) e o tempo de detenção teórico do sistema é de aproximadamente 25 dias. Porém, atualmente o tempo de detenção está em torno de 19 dias, devido ao volume de lodo interno (25% do volume da lagoa). O corpo receptor dos efluentes é o Córrego Pouso Alto, corpo d'água classe 2, afluente do Rio Canoas (manancial responsável por 80 % do abastecimento público da cidade de Franca). A adução do efluente foi feita por gravidade por meio de uma tubulação mista de ferro fundido com diâmetro de 100 mm e PVC com diâmetro de 50 mm.



**Figura 4.18 - Vista da ETE City Petrópolis, Franca-SP, operada pela SABESP**  
(Fonte: AUTOR, 2008)

A água limpa utilizada na irrigação é de uma represa (Figura 4.19), proveniente de um barramento no córrego Pouso Alto, a montante do lançamento da ETE City Petrópolis, de onde é aduzida por gravidade até os reservatórios do experimento, por meio de uma tubulação de PVC 50 mm.



**Figura 4.19 - Represa utilizada como fonte de água limpa**  
(Fonte: AUTOR, 2009)

A caracterização do esgoto afluente e efluente da ETE City Petrópolis, e da água da represa, foi realizada por meio de uma série de campanhas, através de amostras compostas. As análises dos atributos foram feitas no laboratório de Controle Sanitário da Sabesp, cujos métodos estão certificados pela ISO 9001-2000 (International Standard Organization, versão 9001, do ano de 2000) e credenciados no INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização, e Qualidade Industrial) e de acordo com o “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” – 20a ed.- AWWA (American Water and Wastewater Association).

Nas Tabelas 4.9, 4.10 e 4.11, são descritos os resultados dos atributos físicos, químicos e microbiológicos monitorados na água da represa, no afluente e efluente da ETE City Petrópolis.

**Tabela 4.9 - Resumo das características da água da represa**

| Atributo                 | Unidade                  | Média    | Mediana  | Desv.    |             |             |
|--------------------------|--------------------------|----------|----------|----------|-------------|-------------|
|                          |                          |          |          | Padrão   | Maior Valor | Menor Valor |
| Alcalinidade Total       | mg L <sup>-1</sup>       | 6,33     | 6,00     | 0,71     | 8,00        | 5,00        |
| Alumínio Total           | mg L <sup>-1</sup>       | 0,08     | 0,08     | 0,02     | 0,10        | 0,05        |
| Antimônio                | mg L <sup>-1</sup>       | 0,003    | 0,003    | -        | 0,003       | 0,003       |
| Arsênio                  | mg L <sup>-1</sup>       | 0,001    | 0,001    | -        | 0,001       | 0,001       |
| Bário                    | mg L <sup>-1</sup>       | 0,05     | 0,05     | -        | 0,05        | 0,05        |
| Bóro                     | mg L <sup>-1</sup>       | 0,88     | 0,88     | -        | 0,88        | 0,88        |
| Cádmio                   | mg L <sup>-1</sup>       | 0,001    | 0,001    | -        | 0,001       | 0,001       |
| Cálcio                   | mg L <sup>-1</sup>       | 3,90     | 3,90     | -        | 3,90        | 3,90        |
| Chumbo                   | mg L <sup>-1</sup>       | 0,001    | 0,001    | -        | 0,001       | 0,001       |
| Cloretos                 | mg L <sup>-1</sup>       | 2,00     | 2,00     | -        | 2,00        | 2,00        |
| Cobre                    | mg L <sup>-1</sup>       | 0,005    | 0,005    | -        | 0,005       | 0,005       |
| Coli Total               | NMP 100m L <sup>-1</sup> | 3,75E+04 | 2,59E+04 | 3,77E+04 | 9,21E+04    | 6,24E+03    |
| Condutividade            | µs.cm-1                  | 18,50    | 18,80    | 2,13     | 20,60       | 16,29       |
| Cor Aparente             | UC                       | 88,00    | 88,00    | -        | 88,00       | 88,00       |
| Cromo Total              | mg L <sup>-1</sup>       | 0,005    | 0,005    | -        | 0,005       | 0,005       |
| DBO                      | mg L <sup>-1</sup>       | 3,00     | 3,00     | 1,00     | 4,00        | 2,00        |
| DQO                      | mg L <sup>-1</sup>       | 10,56    | 10,00    | 5,58     | 20,00       | 6,20        |
| <i>E. coli</i>           | NMP 100m L <sup>-1</sup> | 8,38E+02 | 9,80E+02 | 2,85E+02 | 9,80E+02    | 4,10E+02    |
| Estanho                  | mg L <sup>-1</sup>       | 1,00     | 1,00     | -        | 1,00        | 1,00        |
| Ferro Total              | mg L <sup>-1</sup>       | 0,48     | 0,54     | 0,27     | 0,73        | 0,08        |
| Fósforo                  | mg L <sup>-1</sup>       | 0,05     | 0,05     | -        | 0,05        | 0,05        |
| Magnésio                 | mg L <sup>-1</sup>       | 0,50     | 0,50     | -        | 0,50        | 0,50        |
| Manganês Total           | mg L <sup>-1</sup>       | 0,046    | 0,036    | 0,033    | 0,100       | 0,012       |
| Mercurio                 | mg L <sup>-1</sup>       | 0,0007   | 0,0007   | -        | 0,0007      | 0,0007      |
| Nitrato                  | mg L <sup>-1</sup>       | 1,94     | 1,00     | 1,30     | 3,60        | 1,00        |
| Nitrogênio Amoniacal     | mg L <sup>-1</sup>       | 0,054    | 0,040    | 0,026    | 0,100       | 0,040       |
| pH                       | -                        | 6,96     | 6,90     | 0,40     | 7,60        | 6,50        |
| Prata                    | mg L <sup>-1</sup>       | 0,01     | 0,01     | -        | 0,01        | 0,01        |
| Selênio                  | mg L <sup>-1</sup>       | 0,001    | 0,001    | -        | 0,001       | 0,001       |
| Sódio Total              | mg L <sup>-1</sup>       | 1,14     | 1,12     | 0,07     | 1,24        | 1,07        |
| Sólidos Sedimentáveis    | mg L <sup>-1</sup>       | 0,10     | 0,10     | -        | 0,10        | 0,10        |
| Sólidos Suspensão Totais | mg L <sup>-1</sup>       | 20,00    | 20,00    | -        | 20,00       | 20,00       |
| Sólidos Totais           | mg L <sup>-1</sup>       | 24,80    | 21,00    | 9,28     | 37,00       | 15,00       |
| Sulfato                  | mg L <sup>-1</sup>       | 20,00    | 20,00    | -        | 20,00       | 20,00       |
| Sulfetos                 | mg L <sup>-1</sup>       | 0,005    | 0,002    | 0,005    | 0,011       | 0,002       |
| Temperatura da amostra   | °C                       | 18,20    | 16,00    | 4,66     | 26,00       | 15,00       |
| Turbidez                 | NTU                      | 12,00    | 12,00    | -        | 12,00       | 12,00       |
| Zinco                    | mg L <sup>-1</sup>       | 0,01     | 0,01     | -        | 0,01        | 0,01        |

**Tabela 4.10 - Resumo das características do afluente da ETE City Petrópolis**

| Atributo                 | Unidade                  | Média     | Mediana   | Desv.    |             |             |
|--------------------------|--------------------------|-----------|-----------|----------|-------------|-------------|
|                          |                          |           |           | Padrão   | Maior Valor | Menor Valor |
| Alcalinidade Total       | mg L <sup>-1</sup>       | 293,75    | 296,50    | 13,45    | 307,00      | 275,00      |
| Alumínio Total           | mg L <sup>-1</sup>       | 0,80      | 0,50      | 0,62     | 1,90        | 0,50        |
| Antimônio                | mg L <sup>-1</sup>       | 0,01      | 0,01      | -        | 0,01        | 0,01        |
| Arsênio                  | mg L <sup>-1</sup>       | 0,01      | 0,01      | -        | 0,01        | 0,01        |
| Bário                    | mg L <sup>-1</sup>       | 0,50      | 0,50      | -        | 0,50        | 0,50        |
| Bóro                     | mg L <sup>-1</sup>       | 5,00      | 5,00      | -        | 5,00        | 5,00        |
| Cadmio                   | mg L <sup>-1</sup>       | 0,05      | 0,05      | -        | 0,05        | 0,05        |
| Cálcio                   | mg L <sup>-1</sup>       | 93,90     | 93,90     | -        | 93,90       | 93,90       |
| Chumbo                   | mg L <sup>-1</sup>       | 0,10      | 0,10      | -        | 0,10        | 0,10        |
| Cloretos                 | mg L <sup>-1</sup>       | 98,80     | 79,00     | 59,82    | 204,00      | 60,00       |
| Cobre                    | mg L <sup>-1</sup>       | 0,10      | 0,10      | -        | 0,10        | 0,10        |
| Coli Total               | NMP 100m L <sup>-1</sup> | 5,77E+07  | 6,57E+07  | 3,69E+07 | 9,07E+07    | 8,60E+06    |
| Condutividade            | µs.cm <sup>-1</sup>      | 1.164,20  | 1.072,00  | 245,16   | 1.588,00    | 987,00      |
| Cor Aparente             | UC                       | 28.400,00 | 28.400,00 | -        | 28.400,00   | 28.400,00   |
| Cromo Total              | mg L <sup>-1</sup>       | 0,06      | 0,05      | 0,02     | 0,09        | 0,05        |
| DBO                      | mg L <sup>-1</sup>       | 755,80    | 764,00    | 64,55    | 824,00      | 663,00      |
| DQO                      | mg L <sup>-1</sup>       | 1.419,60  | 1.470,00  | 132,18   | 1.540,00    | 1.198,00    |
| <i>E. coli</i>           | NMP 100m L <sup>-1</sup> | 9,88E+06  | 1,01E+07  | 8,60E+06 | 1,83E+07    | 1,00E+06    |
| Estanho                  | mg L <sup>-1</sup>       | 2,00      | 2,00      | -        | 2,00        | 2,00        |
| Ferro Total              | mg L <sup>-1</sup>       | 0,95      | 0,93      | 0,20     | 1,24        | 0,70        |
| Fósforo                  | mg L <sup>-1</sup>       | 14,98     | 14,60     | 1,42     | 17,40       | 13,70       |
| Magnésio                 | mg L <sup>-1</sup>       | 5,55      | 5,55      | -        | 5,55        | 5,55        |
| Manganês Total           | mg L <sup>-1</sup>       | 0,10      | 0,10      | -        | 0,10        | 0,10        |
| Merúrio                  | mg L <sup>-1</sup>       | 0,005     | 0,005     | -        | 0,005       | 0,005       |
| Nitrato                  | mg L <sup>-1</sup>       | 2,88      | 3,10      | 1,26     | 4,40        | 1,00        |
| Nitrogênio Amoniacal     | mg L <sup>-1</sup>       | 63,84     | 58,90     | 23,80    | 102,50      | 41,70       |
| pH                       | -                        | 6,80      | 6,80      | 0,12     | 6,90        | 6,60        |
| Prata                    | mg L <sup>-1</sup>       | 0,10      | 0,10      | -        | 0,10        | 0,10        |
| Selênio                  | mg L <sup>-1</sup>       | 0,01      | 0,01      | -        | 0,01        | 0,01        |
| Sódio Total              | mg L <sup>-1</sup>       | 87,85     | 90,24     | 7,21     | 94,36       | 76,14       |
| Sólidos Sedimentáveis    | mg L <sup>-1</sup>       | 7,38      | 7,50      | 3,04     | 10,00       | 4,50        |
| Sólidos Suspensão Totais | mg L <sup>-1</sup>       | 324,00    | 324,00    | -        | 324,00      | 324,00      |
| Sólidos Totais           | mg L <sup>-1</sup>       | 1.020,60  | 1.014,00  | 85,32    | 1.135,00    | 899,00      |
| Sulfato                  | mg L <sup>-1</sup>       | 23,08     | 20,00     | 6,89     | 35,40       | 20,00       |
| Sulfetos                 | mg L <sup>-1</sup>       | 6,54      | 2,38      | 8,42     | 20,53       | 0,12        |
| Temperatura da amostra   | °C                       | 19,40     | 18,00     | 4,22     | 26,00       | 16,00       |
| Turbidez                 | NTU                      | 511,00    | 511,00    | -        | 511,00      | 511,00      |
| Zinco                    | mg L <sup>-1</sup>       | 0,12      | 0,11      | 0,04     | 0,19        | 0,10        |

**Tabela 4.11 - Resumo das características do efluente da ETE City Petrópolis**

| Atributo                 | Unidade             | Média     | Mediana   | Desv.    |             |             |
|--------------------------|---------------------|-----------|-----------|----------|-------------|-------------|
|                          |                     |           |           | Padrão   | Maior Valor | Menor Valor |
| Alcalinidade Total       | mg L <sup>-1</sup>  | 327,50    | 329,00    | 16,60    | 346,00      | 306,00      |
| Alumínio Total           | mg L <sup>-1</sup>  | 0,50      | 0,50      | -        | 0,50        | 0,50        |
| Antimônio                | mg L <sup>-1</sup>  | 0,01      | 0,01      | -        | 0,01        | 0,01        |
| Arsênio                  | mg L <sup>-1</sup>  | 0,01      | 0,01      | -        | 0,01        | 0,01        |
| Bário                    | mg L <sup>-1</sup>  | 0,50      | 0,50      | -        | 0,50        | 0,50        |
| Bóro                     | mg L <sup>-1</sup>  | 5,00      | 5,00      | -        | 5,00        | 5,00        |
| Cadmio                   | mg L <sup>-1</sup>  | 0,05      | 0,05      | -        | 0,05        | 0,05        |
| Cálcio                   | mg L <sup>-1</sup>  | 88,60     | 88,60     | -        | 88,60       | 88,60       |
| Chumbo                   | mg L <sup>-1</sup>  | 0,10      | 0,10      | -        | 0,10        | 0,10        |
| Cloretos                 | mg L <sup>-1</sup>  | 96,60     | 94,00     | 13,16    | 119,00      | 87,00       |
| Cobre                    | mg L <sup>-1</sup>  | 0,10      | 0,10      | -        | 0,10        | 0,10        |
|                          | NMP 100m            |           |           |          |             |             |
| Coli Total               | L <sup>-1</sup>     | 8,77E+06  | 9,38E+06  | 4,01E+06 | 1,29E+07    | 3,45E+06    |
| Condutividade            | µs.cm <sup>-1</sup> | 1.033,60  | 1.072,00  | 146,31   | 1.172,00    | 794,00      |
| Cor Aparente             | UC                  | 25.100,00 | 25.100,00 | -        | 25.100,00   | 25.100,00   |
| Cromo Total              | mg L <sup>-1</sup>  | 0,06      | 0,05      | 0,02     | 0,09        | 0,05        |
| DBO                      | mg L <sup>-1</sup>  | 212,00    | 180,00    | 96,80    | 380,00      | 130,00      |
| DQO                      | mg L <sup>-1</sup>  | 623,40    | 540,00    | 146,41   | 858,00      | 511,00      |
|                          | NMP 100m            |           |           |          |             |             |
| <i>E. coli</i>           | L <sup>-1</sup>     | 2,79E+06  | 2,50E+06  | 1,34E+06 | 4,57E+06    | 1,62E+06    |
| Estanho                  | mg L <sup>-1</sup>  | 2,00      | 2,00      | -        | 2,00        | 2,00        |
| Ferro Total              | mg L <sup>-1</sup>  | 0,76      | 0,67      | 0,20     | 1,00        | 0,55        |
| Fósforo                  | mg L <sup>-1</sup>  | 10,84     | 11,00     | 2,21     | 12,90       | 7,60        |
| Magnésio                 | mg L <sup>-1</sup>  | 4,02      | 4,02      | -        | 4,02        | 4,02        |
| Manganês Total           | mg L <sup>-1</sup>  | 0,10      | 0,10      | -        | 0,10        | 0,10        |
| Merúrio                  | mg L <sup>-1</sup>  | 0,005     | 0,005     | -        | 0,005       | 0,005       |
| Nitrato                  | mg L <sup>-1</sup>  | 2,66      | 2,80      | 1,27     | 4,30        | 1,00        |
| Nitrogênio Amoniacal     | mg L <sup>-1</sup>  | 54,62     | 62,20     | 12,84    | 63,70       | 33,50       |
| pH                       | -                   | 7,20      | 7,30      | 0,34     | 7,60        | 6,80        |
| Prata                    | mg L <sup>-1</sup>  | 0,10      | 0,10      | -        | 0,10        | 0,10        |
| Selênio                  | mg L <sup>-1</sup>  | 0,01      | 0,01      | -        | 0,01        | 0,01        |
| Sódio Total              | mg L <sup>-1</sup>  | 79,38     | 80,16     | 4,69     | 84,62       | 73,14       |
| Sólidos Sedimentáveis    | mg L <sup>-1</sup>  | 0,55      | 0,55      | 0,64     | 1,00        | 0,10        |
| Sólidos Suspensão Totais | mg L <sup>-1</sup>  | 284,00    | 284,00    | -        | 284,00      | 284,00      |
| Sólidos Totais           | mg L <sup>-1</sup>  | 653,40    | 640,00    | 49,96    | 722,00      | 595,00      |
| Sulfato                  | mg L <sup>-1</sup>  | 20,00     | 20,00     | -        | 20,00       | 20,00       |
| Sulfetos                 | mg L <sup>-1</sup>  | 0,14      | 0,09      | 0,10     | 0,31        | 0,06        |
| Temperatura da amostra   | °C                  | 18,60     | 16,00     | 4,56     | 26,00       | 15,00       |
| Turbidez                 | NTU                 | 205,00    | 205,00    | -        | 205,00      | 205,00      |
| Zinco                    | mg L <sup>-1</sup>  | 0,10      | 0,10      | -        | 0,10        | 0,10        |

Verifica-se, de acordo com as Tabelas 4.10 e 4.11, que a ETE City Petrópolis possui uma eficiência satisfatória, pois analisando a eficiência média de remoção de alguns atributos podem-se observar os seguintes índices: de 72 % para DBO, 56 % para DQO, 85 % para Coli Total, 72 % para E. Coli e 93 % para sólidos sedimentáveis.

Quanto a RAS (Razão de Adsorção de Sódio) do esgoto utilizaram-se os seguintes valores para o cálculo:

- Sódio = 79,38 mg L<sup>-1</sup> (média do efluente da ETE City Petrópolis)
- Cálcio = 88,60 mg L<sup>-1</sup>
- Magnésio = 4,02 mg L<sup>-1</sup>
- Condutividade elétrica = 1.033,60  $\mu\text{s cm}^{-1}$  = 1,03 ds m<sup>-1</sup>

Utilizando a Equação 3.1, a RAS equivale a 2,24.

De acordo com o diagrama para classificação de água de irrigação:

C3S1 = águas com salinidade alta e baixa sodificação. Não podem ser usadas em solos de drenagem deficiente, prestam-se para culturas com boa tolerância salina.

## 4.6 Monitoramento do DAP

Um dos atributos utilizados pela Engenharia Florestal para medir a produtividade da cultura é o DAP (diâmetro à altura do peito), medido a 1,30 m da base do tronco. A análise do DAP foi realizada bimestralmente até o mês de junho de 2008 e mensalmente após esse período. Esse atributo foi monitorado por meio de medição, utilizando como instrumento o paquímetro (Figura 4.20).



**Figura 4.20 - Medição do DAP do caule do eucalipto**  
(Fonte: AUTOR, 2008)

## **4.7 Monitoramento dos Lixiviados**

Para monitoramento dos líquidos lixiviados foram realizadas 4 campanhas de amostragem, sendo a 1<sup>a</sup> entre os meses de abril e maio de 2008, a 2<sup>a</sup> no mês de setembro de 2008, a 3<sup>a</sup> nos meses de novembro e dezembro de 2008 e a 4<sup>a</sup> entre os meses de maio e junho de 2009. Nessas campanhas os lixiviados armazenados nos coletores de 0,30, 0,60 e 0,90 m de profundidade foram coletados e encaminhados para análise no laboratório da SABESP/Franca.

As coletas foram realizadas com o auxílio de uma bomba de vácuo e acessórios de vidraria de um frasco com capacidade de um litro e um frasco pulmão com capacidade para 10 litros, conforme pode ser observado na Figura 4.21.



**Figura 4.21 - Coleta do percolado armazenado no coletor de drenagem livre**  
(Fonte: AUTOR, 2008)

Devido à grande quantidade de amostras, padronizou-se em cada campanha, que as coletas nas diferentes profundidades seriam alternadas. Dessa forma, em uma semana coletavam-se amostras nos coletores de 0,30 m de profundidade; na outra, os de 0,60 m e na outra os de 0,90 m, nem sempre nessa seqüência. Foi necessário executar essa alternância por uma questão de logística, para entrada das amostras no laboratório da SABESP/Franca.

Durante as campanhas de amostragem, alguns coletores não possuíam líquido armazenado para captação. Em todos os coletores com líquidos armazenados, foram analisados os seguintes atributos: cádmio, cromo, cobre, chumbo, zinco, sódio, condutividade elétrica e nitrato. Em um coletor de cada tratamento foi realizada a análise de DBO, DQO e sólidos totais. Na 3ª e 4ª campanhas de monitoramento foram analisados, de um coletor de cada tratamento os parâmetros: coliformes totais, *E.coli* e pH.



## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

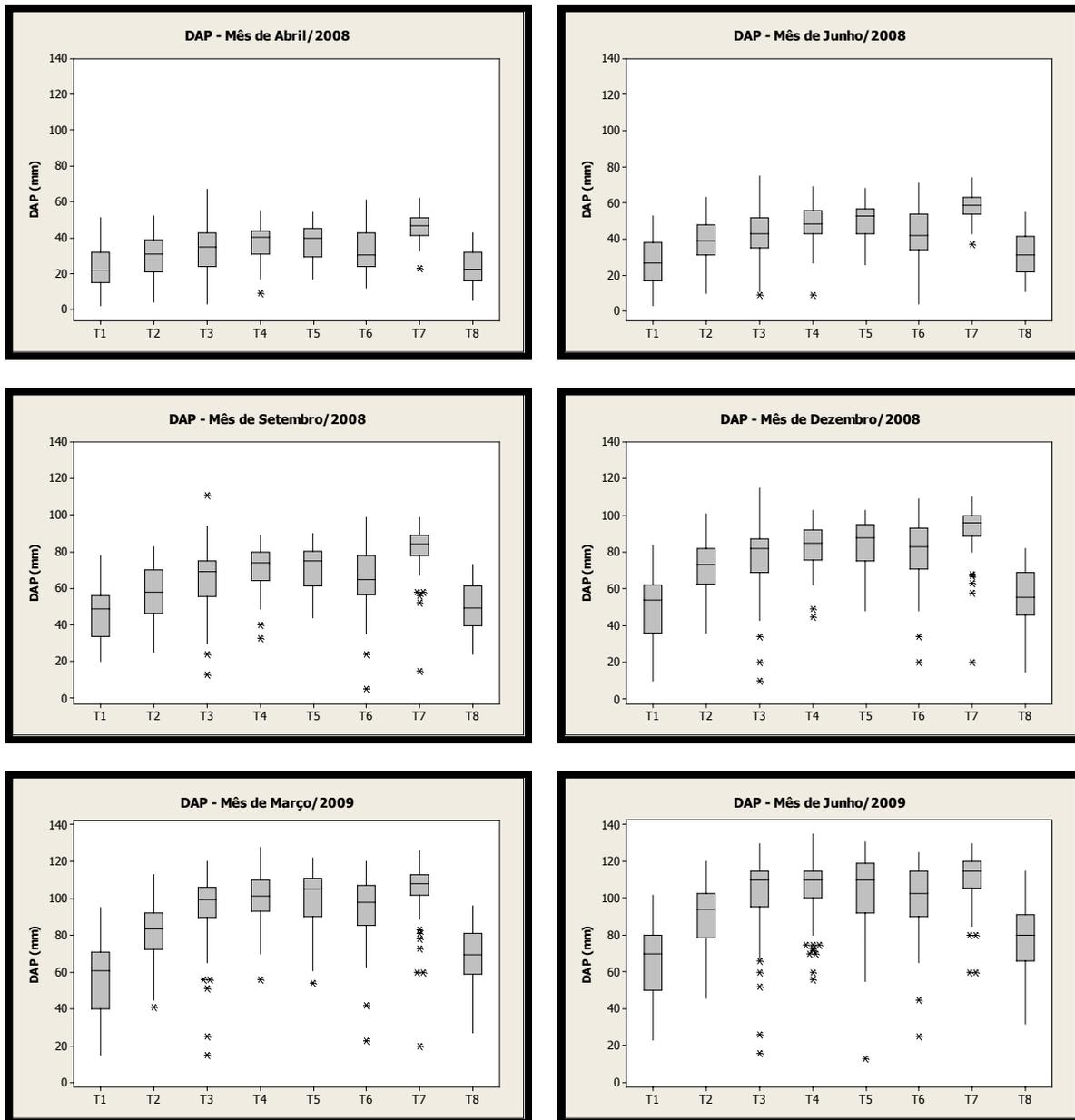
### **5.1 Avaliação do DAP**

Na Tabela 5.1 é apresentada a síntese dos resultados da análise estatística descritiva. No intuito de facilitar a visualização optou-se por não apresentar todos os meses monitorados.

**Tabela 5.1 - Síntese dos resultados da estatística descritiva do DAP**

| Tratamentos | Meses  | Media (mm) | Mediana (mm) | Desvio Padrão | Coefficiente de Variação (%) |
|-------------|--------|------------|--------------|---------------|------------------------------|
| T 1         | abr/08 | 23,37      | 22,00        | 12,36         | 52,89                        |
|             | jun/08 | 28,29      | 27,00        | 14,24         | 50,32                        |
|             | set/08 | 46,57      | 49,00        | 15,94         | 34,23                        |
|             | dez/08 | 50,19      | 54,00        | 17,86         | 35,58                        |
|             | mar/09 | 58,16      | 61,00        | 18,82         | 32,35                        |
|             | jun/09 | 67,08      | 70,00        | 19,37         | 28,87                        |
| T 2         | abr/08 | 29,33      | 31,00        | 11,64         | 39,69                        |
|             | jun/08 | 38,38      | 39,00        | 12,18         | 31,72                        |
|             | set/08 | 57,34      | 58,00        | 14,14         | 24,67                        |
|             | dez/08 | 70,63      | 73,50        | 15,51         | 21,96                        |
|             | mar/09 | 81,06      | 83,50        | 16,63         | 20,52                        |
|             | jun/09 | 90,43      | 94,00        | 17,49         | 19,35                        |
| T 3         | abr/08 | 33,60      | 35,00        | 11,99         | 35,69                        |
|             | jun/08 | 42,17      | 43,00        | 12,74         | 30,20                        |
|             | set/08 | 65,83      | 69,00        | 17,30         | 26,28                        |
|             | dez/08 | 76,25      | 82,00        | 19,43         | 25,48                        |
|             | mar/09 | 93,56      | 99,50        | 20,67         | 22,09                        |
|             | jun/09 | 101,50     | 110,00       | 22,75         | 22,41                        |
| T 4         | abr/08 | 37,98      | 40,50        | 9,28          | 24,42                        |
|             | jun/08 | 48,61      | 48,50        | 10,62         | 21,85                        |
|             | set/08 | 71,42      | 74,00        | 11,20         | 15,68                        |
|             | dez/08 | 82,94      | 85,00        | 12,17         | 15,64                        |
|             | mar/09 | 98,81      | 101,50       | 14,89         | 15,07                        |
|             | jun/09 | 105,42     | 110,00       | 17,34         | 16,45                        |
| T 5         | abr/08 | 37,62      | 40,00        | 9,96          | 26,48                        |
|             | jun/08 | 49,48      | 53,00        | 10,63         | 21,49                        |
|             | set/08 | 71,17      | 75,00        | 12,04         | 16,92                        |
|             | dez/08 | 84,81      | 88,00        | 13,26         | 15,64                        |
|             | mar/09 | 100,06     | 105,00       | 15,55         | 15,54                        |
|             | jun/09 | 104,22     | 110,00       | 21,06         | 20,21                        |
| T 6         | abr/08 | 32,84      | 30,50        | 12,91         | 39,29                        |
|             | jun/08 | 43,12      | 42,00        | 14,85         | 34,44                        |
|             | set/08 | 65,94      | 65,00        | 15,99         | 24,25                        |
|             | dez/08 | 80,31      | 83,00        | 16,35         | 20,36                        |
|             | mar/09 | 94,22      | 98,00        | 17,76         | 18,85                        |
|             | jun/09 | 100,43     | 103,00       | 19,40         | 19,32                        |
| T 7         | abr/08 | 46,10      | 47,00        | 7,27          | 15,77                        |
|             | jun/08 | 58,44      | 59,00        | 7,44          | 12,74                        |
|             | set/08 | 82,08      | 84,00        | 12,65         | 15,41                        |
|             | dez/08 | 92,28      | 96,00        | 13,34         | 14,46                        |
|             | mar/09 | 104,38     | 108,00       | 16,57         | 15,87                        |
|             | jun/09 | 111,31     | 115,00       | 14,08         | 12,65                        |
| T 8         | abr/08 | 23,56      | 22,50        | 9,51          | 40,36                        |
|             | jun/08 | 31,56      | 31,00        | 11,68         | 37,00                        |
|             | set/08 | 49,74      | 49,50        | 13,72         | 27,57                        |
|             | dez/08 | 55,00      | 55,50        | 15,00         | 27,28                        |
|             | mar/09 | 68,31      | 69,50        | 16,43         | 24,05                        |
|             | jun/09 | 78,27      | 80,00        | 17,97         | 22,95                        |

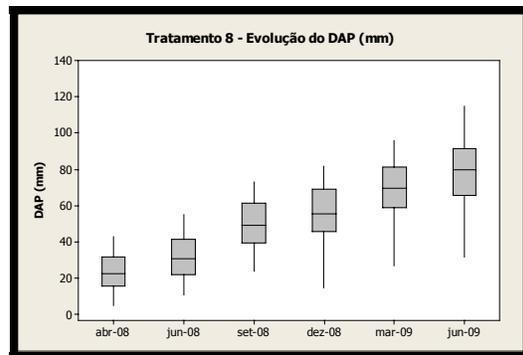
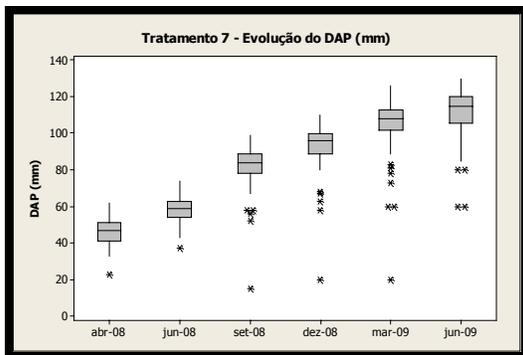
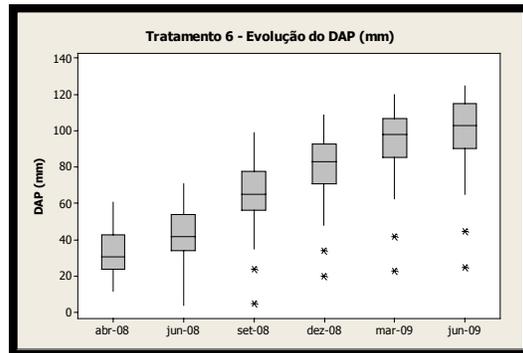
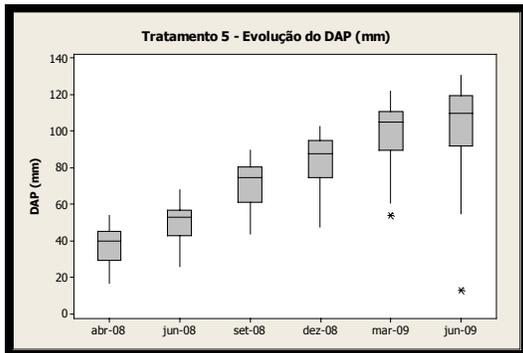
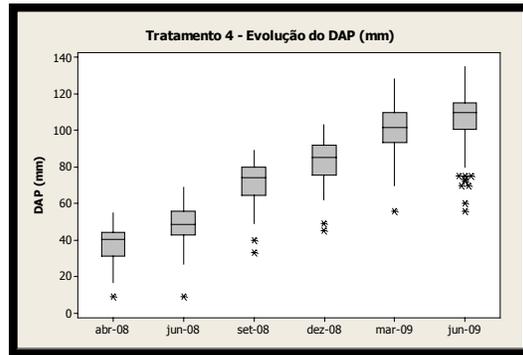
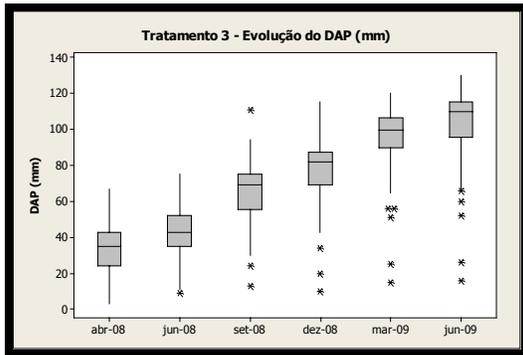
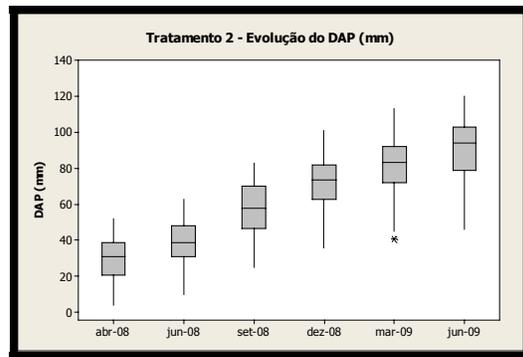
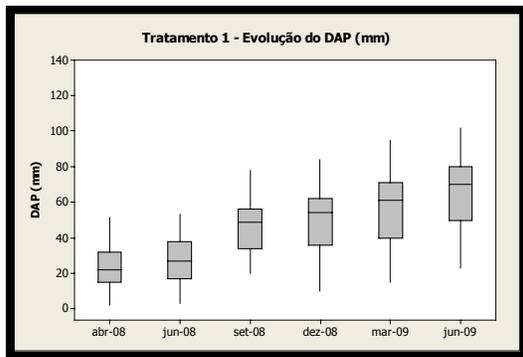
Na figura 5.1 são apresentados os gráficos referentes ao desenvolvimento do eucalipto em todos os tratamentos nos períodos de monitoramento.



**Figura 5.1 - Gráficos Box-Plot do desenvolvimento do DAP do eucalipto em todos os tratamentos, durante os meses de monitoramento**  
(Fonte: AUTOR com auxílio do Minitab 15, 2009)

\* Outliers

Na figura 5.2 são mostrados os gráficos com o desenvolvimento das plantas, nos respectivos tratamentos, durante o período de monitoramento.



**Figura 5.2 - Gráficos Box-Plot do desenvolvimento das plantas, nos diferentes tratamentos, durante o período de monitoramento**  
(Fonte: AUTOR com auxílio do Minitab 15, 2009)

\* Outliers

Observando-se a Tabela 5.1 e as Figuras 5.1 e 5.2, nota-se que os tratamentos irrigados com efluente apresentaram maior desenvolvimento quando comparados aos demais. Comprovando, dessa forma, que água e os nutrientes presentes no efluente interferem positivamente no desenvolvimento da planta. Verificou-se que o tratamento 1 (irrigado com água e que não recebeu adubação) apresentou desenvolvimento inferior ao tratamento 8 (não irrigado).

Nota-se também, na Tabela 5.1, que inicialmente as plantas apresentaram desenvolvimento desuniforme (alto coeficiente de variação), fato que foi sendo minimizado no decorrer do tempo, pois o coeficiente de variação foi se reduzindo e o desenvolvimento tornou-se mais homogêneo. Verifica-se que a maior heterogeneidade ocorreu no tratamento 1 e o desenvolvimento mais homogêneo no tratamento 7, que recebeu a maior lâmina de irrigação com efluente.

Os valores referentes aos *Outliers* (valores fora do segundo e terceiro quartil), podem ser justificados pelo fato de ter sido realizada a replanta de eucalipto, onde ocorreu morte das plantas, com isso as mudas replantadas apresentaram valores de DAP menores do que as plantadas anteriormente.

Para análise de variância, aplicaram-se dois testes de hipóteses: primeiramente, o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar se os dados representavam amostras com distribuição gaussiana (distribuição normal) e, posteriormente, o teste Bartlett, no intuito de analisar se os resultados apresentavam amostras de populações com iguais desvios padrões. De acordo com os resultados do primeiro teste, alguns tratamentos não apresentavam distribuição normal (T2, T4, T6 e T8) e em relação ao teste de Bartlett, observou-se que a diferença entre os diferentes tratamentos era significativa. Portanto, optou-se pela utilização do teste Kruskal-Wallis (teste não-paramétrico), em nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

Na Tabela 5.2 é apresentada a síntese da análise de variância (Kruskal-Wallis - 5%) entre os tratamentos do experimento.

**Tabela 5.2 - Análise de variância pelo método Kruskal-Wallis (5 %)**

| Comparação entre<br>Tratamentos | Meses  |        |        |        |        |        |
|---------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                 | abr/08 | jun/08 | set/08 | dez/08 | mar/09 | jun/09 |
|                                 | p      | p      | p      | p      | P      | p      |
| T1 e T2                         | ns     | ns     | ns     | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 |
| T1 e T3                         | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 |
| T1 e T4                         | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 |
| T1 e T5                         | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 |
| T1 e T6                         | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 |
| T1 e T7                         | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 |
| T1 e T8                         | ns     | ns     | ns     | ns     | Ns     | ns     |
| T2 e T3                         | ns     | ns     | ns     | ns     | < 0.05 | < 0.05 |
| T2 e T4                         | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 |
| T2 e T5                         | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 |
| T2 e T6                         | ns     | Ns     | ns     | < 0.05 | < 0.05 | ns     |
| T2 e T7                         | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 |
| T2 e T8                         | ns     | ns     | ns     | < 0.05 | Ns     | ns     |
| T3 e T4                         | ns     | ns     | ns     | ns     | Ns     | ns     |
| T3 e T5                         | ns     | ns     | ns     | ns     | Ns     | ns     |
| T3 e T6                         | ns     | ns     | ns     | ns     | Ns     | ns     |
| T3 e T7                         | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | ns     |
| T3 e T8                         | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 |
| T4 e T5                         | ns     | ns     | ns     | ns     | Ns     | ns     |
| T4 e T6                         | ns     | ns     | ns     | ns     | Ns     | ns     |
| T4 e T7                         | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | Ns     | ns     |
| T4 e T8                         | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 |
| T5 e T6                         | ns     | ns     | ns     | ns     | Ns     | ns     |
| T5 e T7                         | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | ns     | Ns     | ns     |
| T5 e T8                         | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 |
| T6 e T7                         | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 |
| T6 e T8                         | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 |
| T7 e T8                         | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.05 |

Obs: p < 0.05 (diferença significativa); ns – (diferença não significativa)

Observando-se a Tabela 5.2, verifica-se que os tratamentos irrigados com água (T1 e T2), inicialmente, não apresentaram diferenças significativas entre si. No entanto, a partir da avaliação de dezembro/2008, a produtividade do tratamento 2 tornou-se mais significativa em comparação ao tratamento 1. Os tratamentos 1 e 2 receberam quantidades de água semelhantes, porém o tratamento 2 recebeu adubação.

Todos os tratamentos irrigados com esgoto apresentaram maior desenvolvimento das plantas em relação ao tratamento 1, irrigado com água e sem adubação. Na comparação do tratamento 2 com os tratamentos irrigados utilizando efluentes, os tratamentos que receberam efluentes desenvolveram-se mais que o tratamento 2, exceto os tratamentos 3 e 6, que no estágio inicial não apresentaram diferença significativa.

Na comparação dos tratamentos irrigados com água (T1 e T2) com o tratamento que não recebeu nenhum tipo de irrigação artificial (T8), verifica-se que a diferença entre eles não é significativa, dessa forma, a irrigação da cultura de eucalipto com água natural mostrou ser desnecessária, supõe-se que isso pode ser justificado pelo alto índice pluviométrico do local da pesquisa.

Na comparação entre os tratamentos irrigados com efluentes, nota-se que o tratamento 3, que recebeu quantidade de esgoto equivalente a um terço da necessidade hídrica da planta e adubação, teve um bom desenvolvimento e não apresentou diferença significativa com os demais tratamentos irrigados com efluentes, exceto o tratamento 7 (que recebeu esgoto equivalente a uma vez e meia a necessidade hídrica da planta e adubação).

O tratamento 4, que recebeu quantidade de efluente equivalente à metade da necessidade hídrica da planta mais adubação, também teve um bom desenvolvimento e não apresentou diferença significativa com os demais tratamentos irrigados com efluentes. Verifica-se que até o monitoramento realizado no mês de março de 2009 o desenvolvimento do tratamento 7 era maior e significativo.

O tratamento 5, que recebeu quantidade de efluente equivalente à necessidade hídrica da planta e adubação, resultou em um bom crescimento, não apresentando diferença significativa com os demais tratamentos irrigados com efluentes. Verifica-se que até o monitoramento realizado no mês de dezembro de 2008 o desenvolvimento do tratamento 7 era maior e significativo.

O tratamento 6, que recebeu quantidade de efluente equivalente à necessidade hídrica da planta e não recebeu adubação, apresentou uma diferença não significativa quando comparado com os outros tratamentos irrigados com esgoto, exceto na comparação com o tratamento 7, que sempre se situou em um estágio de desenvolvimento mais elevado e significativo.

O tratamento 7, que recebeu a maior quantidade de efluentes e conseqüentemente de nutrientes, apresentou, nos primeiros meses de avaliação, as melhores respostas no desenvolvimento das plantas, porém a diferença comparada com alguns tratamentos irrigados com esgoto (T3, T4 e T5) deixou de ser significativa após o crescimento da planta.

Na Tabela A.1 do Apêndice é apresentada a síntese dos resultados da análise de variância, executada por meio do teste paramétrico de Tukey.

## **5.2 Análise dos Lixiviados dos Coletores de Drenagem Livre**

Durante as campanhas de monitoramento não foi possível obter amostras em todos os coletores instalados, o que pode indicar que o fornecimento de água foi suficiente na maioria dos casos para suprir a demanda hídrica do eucalipto, com um mínimo de lixiviação possível, reduzindo, dessa forma, o risco de contaminação do lençol freático.

Os períodos em que houve maior lixiviação e maior quantidade de líquido percolado foram correspondentes aos períodos chuvosos. A seguir serão apresentados os resultados dos atributos físico-químicos e microbiológicos, determinados nos lixiviados retirados dos coletores de drenagem, instalados na linha central de cada

parcela, nas profundidades de 0,30 0,60 e 0,90 m de profundidade, durante as quatro campanhas de monitoramento.

### **5.2.1 DBO e DQO**

Em relação a DBO a ETE City Petrópolis apresentou uma eficiência de remoção média de 72% em relação ao esgoto bruto, com uma DBO remanescente de aproximadamente  $212,0 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ . Na Tabela 5.3 são apresentados os resultados obtidos nas campanhas de monitoramentos dos lixiviados.

A partir dos resultados mostrados na Tabela 5.3, verifica-se uma boa eficiência do sistema solo-planta na degradação de DBO, pois 80% das amostras dos percolados de tratamentos irrigados com esgoto apresentaram um valor inferior a  $4,0 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ , que representa uma eficiência de remoção de 98% em relação ao efluente aplicado. Vale ressaltar que o valor de  $4,0 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$  é o LDM (Limite de Detecção do Método aplicado). Dessa forma, a eficiência real do sistema pode ser ainda maior.

Pode ser observado que na segunda campanha ocorreram alguns valores mais elevados e um pico de  $23,0 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$  no tratamento 7, o que pode ser justificado pelo fato de ter havido, no intervalo entre essa campanha e a primeira, um baixo índice pluviométrico, ocasionando pouca diluição do efluente no coletor. Além disso, o tratamento 7 recebeu uma maior lâmina de esgoto (irrigação). Mas, mesmo considerando esse valor mais elevado, verifica-se uma eficiência de 89% de remoção. Não foi possível identificar nenhuma distinção considerável quanto às diferenças de concentração nas diferentes profundidades dos coletores.

**Tabela 5.3 - Demanda bioquímica de oxigênio ( $\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ ) das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas quatro campanhas de monitoramento**

| Tratamento | Prof. Coletores (m) | 1ª Campanha | 2ª Campanha | 3ª Campanha | 4ª Campanha |
|------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| T1         | 0,30                | < 4,0       | 6,0         | < 4,0       | < 4,0       |
|            | 0,60                | < 4,0       | < 4,0       | 5,0         | < 4,0       |
|            | 0,90                | *           | < 4,0       | < 4,0       | < 4,0       |
| T2         | 0,30                | < 4,0       | < 4,0       | < 4,0       | < 4,0       |
|            | 0,60                | < 4,0       | < 4,0       | < 4,0       | < 4,0       |
|            | 0,90                | < 4,0       | < 4,0       | < 4,0       | < 4,0       |
| T3         | 0,30                | < 4,0       | < 4,0       | 5,0         | *           |
|            | 0,60                | < 4,0       | *           | 6,0         | < 4,0       |
|            | 0,90                | < 4,0       | *           | *           | < 4,0       |
| T4         | 0,30                | < 4,0       | *           | *           | < 4,0       |
|            | 0,60                | < 4,0       | < 4,0       | 7,0         | < 4,0       |
|            | 0,90                | < 4,0       | *           | 7,2         | < 4,0       |
| T5         | 0,30                | < 4,0       | < 4,0       | < 4,0       | < 4,0       |
|            | 0,60                | 5,0         | < 4,0       | < 4,0       | < 4,0       |
|            | 0,90                | < 4,0       | *           | < 4,0       | < 4,0       |
| T6         | 0,30                | < 4,0       | < 4,0       | < 4,0       | < 4,0       |
|            | 0,60                | < 4,0       | < 4,0       | 10,0        | 6,0         |
|            | 0,90                | < 4,0       | < 4,0       | < 4,0       | < 4,0       |
| T7         | 0,30                | < 4,0       | 13,0        | < 4,0       | < 4,0       |
|            | 0,60                | < 4,0       | < 4,0       | 6,0         | < 4,0       |
|            | 0,90                | < 4,0       | 23,0        | < 4,0       | *           |
| T8         | 0,30                | < 4,0       | *           | < 4,0       | < 4,0       |
|            | 0,60                | *           | *           | < 4,0       | < 4,0       |
|            | 0,90                | *           | *           | *           | *           |

(\*) – Não havia líquido percolado no coletor

A ETE City Petrópolis apresentou uma eficiência de remoção de DQO média de 56%, com uma DQO remanescente de aproximadamente  $623,4 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ , os resultados obtidos nas campanhas de monitoramentos dos lixiviados são apresentados na Tabela 5.4 .

**Tabela 5.4 - Demanda química de oxigênio ( $\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$ ) das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas quatro campanhas de monitoramento**

| Tratamento | Prof. Coletores (m) | 1ª Campanha | 2ª Campanha | 3ª Campanha | 4ª Campanha |
|------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| T1         | 0,30                | < 10,0      | 20,3        | < 10,0      | < 10,0      |
|            | 0,60                | 26,6        | 16,2        | 19,0        | < 10,0      |
|            | 0,90                | *           | < 10,0      | < 10,0      | 14,2        |
| T2         | 0,30                | < 10,0      | < 10,0      | < 10,0      | 11,7        |
|            | 0,60                | < 10,0      | < 10,0      | < 10,0      | < 10,0      |
|            | 0,90                | < 10,0      | < 10,0      | < 10,0      | < 10,0      |
| T3         | 0,30                | < 10,0      | < 10,0      | 29,7        | *           |
|            | 0,60                | 23,9        | *           | 22,0        | 30,5        |
|            | 0,90                | 15,8        | *           | *           | 13,1        |
| T4         | 0,30                | < 10,0      | *           | *           | 14,0        |
|            | 0,60                | 15,6        | 15,4        | 33,0        | 14,9        |
|            | 0,90                | < 10,0      | *           | < 10,0      | < 10,0      |
| T5         | 0,30                | < 10,0      | < 10,0      | 12,1        | < 10,0      |
|            | 0,60                | 23,5        | < 10,0      | 16,7        | < 10,0      |
|            | 0,90                | < 10,0      | *           | < 10,0      | < 10,0      |
| T6         | 0,30                | < 10,0      | 12,5        | 15,0        | 18,0        |
|            | 0,60                | < 10,0      | < 10,0      | 33,2        | 39,8        |
|            | 0,90                | < 10,0      | < 10,0      | < 10,0      | 12,0        |
| T7         | 0,30                | < 10,0      | 39,3        | < 10,0      | 21,8        |
|            | 0,60                | < 10,0      | < 10,0      | 19,4        | < 10,0      |
|            | 0,90                | < 10,0      | 70,0        | 15,4        | *           |
| T8         | 0,30                | < 10,0      | *           | < 10,0      | 17,4        |
|            | 0,60                | *           | *           | < 10,0      | < 10,0      |
|            | 0,90                | *           | *           | *           | *           |

(\*) – Não havia líquido percolado no coletor

Da mesma forma que observado quanto à eficiência do sistema solo-planta na remoção de DBO, o sistema também se mostrou eficiente na redução da DQO, pois 51% das amostras dos percolados, de tratamentos irrigados com esgoto, apresentaram um valor inferior a  $10,0 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ , representando uma eficiência de remoção de 98% em relação ao efluente aplicado. O LDM (limite de detecção do método aplicado), no caso da DQO é de  $10,0 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$ .

Na segunda campanha, nota-se um valor elevado de  $70,0 \text{ mgO}_2\text{L}^{-1}$  (tratamento 7), o que pode ser justificado, como no caso da DBO, pela baixa diluição do efluente no coletor (devido ao baixo índice pluviométrico no período) e pela maior lâmina de esgoto

(irrigação) aplicada no tratamento 7. Entretanto, mesmo considerando esse pico, obteve-se uma eficiência de 89% de remoção em relação à concentração do esgoto aplicado. Também não foi possível identificar nenhuma distinção considerável quanto às diferenças de concentração nas diferentes profundidades dos coletores.

Considerando os resultados obtidos no experimento, verifica-se que o sistema solo-planta mostrou-se extremamente eficiente na remoção da matéria orgânica presente no efluente aplicado. Os resultados demonstraram um nível de eficiência superior ao experimento desenvolvido em Limeira-SP, onde se aplicou esgoto da indústria cítrica na cultura de eucalipto por meio de sulcos de infiltração, nessa pesquisa observou-se uma eficiência na remoção de matéria orgânica de, 77 % de DQO e 95 % de DBO, porém a 1,50 m de profundidade (CARRARO, 1995).

### **5.2.2 Sólidos Totais**

Verifica-se na Tabela 5.5 que os resultados do atributo sólidos totais, nos percolados dos coletores de tratamentos irrigados com água, variaram de 51,00 a 520,00 mg L<sup>-1</sup>. Porém, 82 % dos resultados das amostras situaram-se abaixo de 200,00 mg L<sup>-1</sup>. Os resultados dos percolados do tratamento 8 (não irrigado), situaram-se entre 44,00 a 128,00 mg L<sup>-1</sup>.

Quanto aos resultados dos lixiviados nos tratamentos irrigados com esgotos, verifica-se valores mais elevados, o que ocorre devido aos sólidos presentes no efluente. Os resultados variam de 147,00 a 1.467,00 mg L<sup>-1</sup>. Nota-se maiores valores na 2ª e 3ª campanhas, devido ao menor índice pluviométrico no período, reduzindo assim a diluição no coletor. Não foi identificada nenhuma distinção considerável quanto às concentrações nas diferentes profundidades dos coletores.

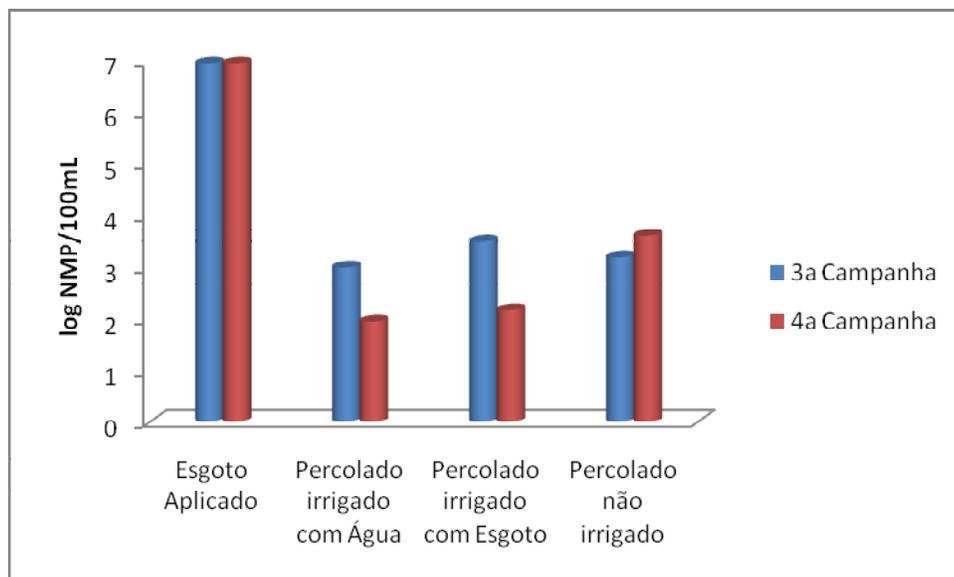
**Tabela 5.5 - Concentração de sólidos totais (mg L<sup>-1</sup>) das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas quatro campanhas de monitoramento**

| Tratamento | Prof. Coletores (m) | 1ª Campanha | 2ª Campanha | 3ª Campanha | 4ª Campanha |
|------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| T1         | 0,30                | 520         | 358         | 178         | 77          |
|            | 0,60                | *           | 207         | 181         | 83          |
|            | 0,90                | *           | 77          | 60          | 51          |
| T2         | 0,30                | 188         | 136         | 100         | 361         |
|            | 0,60                | 102         | 152         | 110         | 126         |
|            | 0,90                | 163         | 107         | 97          | 166         |
| T3         | 0,30                | 276         | 349         | 751         | *           |
|            | 0,60                | 171         | *           | 436         | 370         |
|            | 0,90                | 270         | *           | *           | 181         |
| T4         | 0,30                | 225         | *           | *           | 453         |
|            | 0,60                | 262         | 810         | 426         | 392         |
|            | 0,90                | 225         | *           | 329         | 178         |
| T5         | 0,30                | 200         | 570         | 1.087       | 330         |
|            | 0,60                | 288         | 887         | 705         | 284         |
|            | 0,90                | 206         | *           | 594         | 416         |
| T6         | 0,30                | 319         | 701         | 1.467       | 498         |
|            | 0,60                | 227         | 605         | 355         | 588         |
|            | 0,90                | 147         | 464         | 447         | 326         |
| T7         | 0,30                | 317         | 763         | 556         | 477         |
|            | 0,60                | 294         | 881         | 1.065       | 501         |
|            | 0,90                | 422         | 698         | 1.030       | *           |
| T8         | 0,30                | 128         | *           | 44          | 117         |
|            | 0,60                | *           | *           | 72          | 65          |
|            | 0,90                | *           | *           | *           | *           |

(\*) – Não havia líquido percolado no coletor

### 5.2.3 Coliformes Totais e *E. Coli*

Observa-se na Figura 5.3 que os resultados de coliformes totais, encontrados nos percolados do tratamento não irrigado (T8) e dos tratamentos irrigados com água, não se diferem muito daqueles irrigados com efluentes.



**Figura 5.3 - Concentração média de coliformes totais do esgoto aplicado e dos percolados retirados dos coletores, nas 3ª e 4ª campanhas de monitoramento**  
(Fonte: AUTOR, 2009)

Nota-se também que na 3ª campanha de amostragem a concentração média de coliformes totais foi mais elevada tanto nos tratamentos irrigados com água quanto nos tratamentos que receberam esgoto. Isso pode ser justificado devido à menor precipitação natural ocorrida no período, que proporcionou menor diluição nos coletores. Não foi possível identificar, entre os resultados, uma distinção no que tange as diferentes profundidades dos coletores.

Quanto à eficiência do sistema solo-planta na remoção de coliformes, verifica-se que nos tratamentos irrigados com esgoto ocorreu uma redução média de 3,46 unidades log (logNMP/100mL) na 3ª campanha e 4,78 unidades log (log NMP/100mL) na 4ª campanha, comparado com a concentração de coliformes totais presentes no esgoto aplicado.

Não foram encontrados na literatura estudos relacionados à irrigação de eucalipto com efluente onde se analisou a eficiência do sistema solo-planta na remoção de coliformes totais. Há experimentos que a eficiência na remoção desse atributo foi analisada, mas em outras culturas, como o milho. Em um experimento realizado em Limeira-SP onde se aplicou efluente de lagoa anaeróbia por meio de sulcos de

infiltração, obteve-se uma redução mínima de 1 unidade de log, e máxima de 4 unidades de log do NMP/100mL de coliformes totais em comparação à média presente no efluente anaeróbio aplicado (SOUZA, 2004).

Dessa forma, verifica-se que na 3ª campanha os resultados situaram-se no mesmo patamar do experimento de Limeira-SP e na 4ª campanha ocorreu uma remoção superior de coliformes totais.

**Tabela 5.6 - Concentração de *E. Coli* (NMP/100 mL) das amostras extraídas dos coletores de drenagem em duas campanhas de monitoramento**

| Tratamento | Prof. Coletores (m) | 3ª Campanha | 4ª Campanha |
|------------|---------------------|-------------|-------------|
| T1         | 0,30                | 5           | 1           |
|            | 0,60                | 1           | 1           |
|            | 0,90                | 236         | 1           |
| T2         | 0,30                | 1           | 1           |
|            | 0,60                | 1           | 3           |
|            | 0,90                | 1           | 1           |
| T3         | 0,30                | 1.300       | 74          |
|            | 0,60                | 1.565       | 1           |
|            | 0,90                | 8           | 1           |
| T4         | 0,30                | 3           | 1.550       |
|            | 0,60                | 135         | 1           |
|            | 0,90                | 5           | 1           |
| T5         | 0,30                | 86          | 1           |
|            | 0,60                | 3.811       | 1           |
|            | 0,90                | 4.160       | 1           |
| T6         | 0,30                | 2.419       | 7           |
|            | 0,60                | 155         | 1           |
|            | 0,90                | 37          | 1           |
| T7         | 0,30                | 326         | 1           |
|            | 0,60                | 10          | 41          |
|            | 0,90                | 1           | 1           |
| T8         | 0,30                | 1           | 1           |
|            | 0,60                | 1           | 3.930       |
|            | 0,90                | *           | *           |

Observa-se na Tabela 5.6 que os resultados de *E.coli* nos tratamentos irrigados com esgoto apresentaram-se mais elevados que os tratamentos irrigados com água.

Verifica-se também que na 3ª campanha ocorreram maiores valores em relação à 4ª campanha, o que pode ser justificado pela maior diluição do efluente no coletor, devido ao maior índice pluviométrico no período. Não há alteração significativa entre os percolados nas diferentes profundidades dos coletores.

Nota-se também uma anomalia (valor elevado) no tratamento 8 (não irrigado). Uma hipótese para justificar esse fato é a possibilidade da existência destes microrganismos no *habitat* solo.

Ressalta-se que grande parte dos resultados verificados na 4ª campanha apresentou a concentração inferior a 1 NMP/100 mL, sendo este o valor do LDM (limite de detecção do método aplicado).

#### **5.2.4 Nitrato**

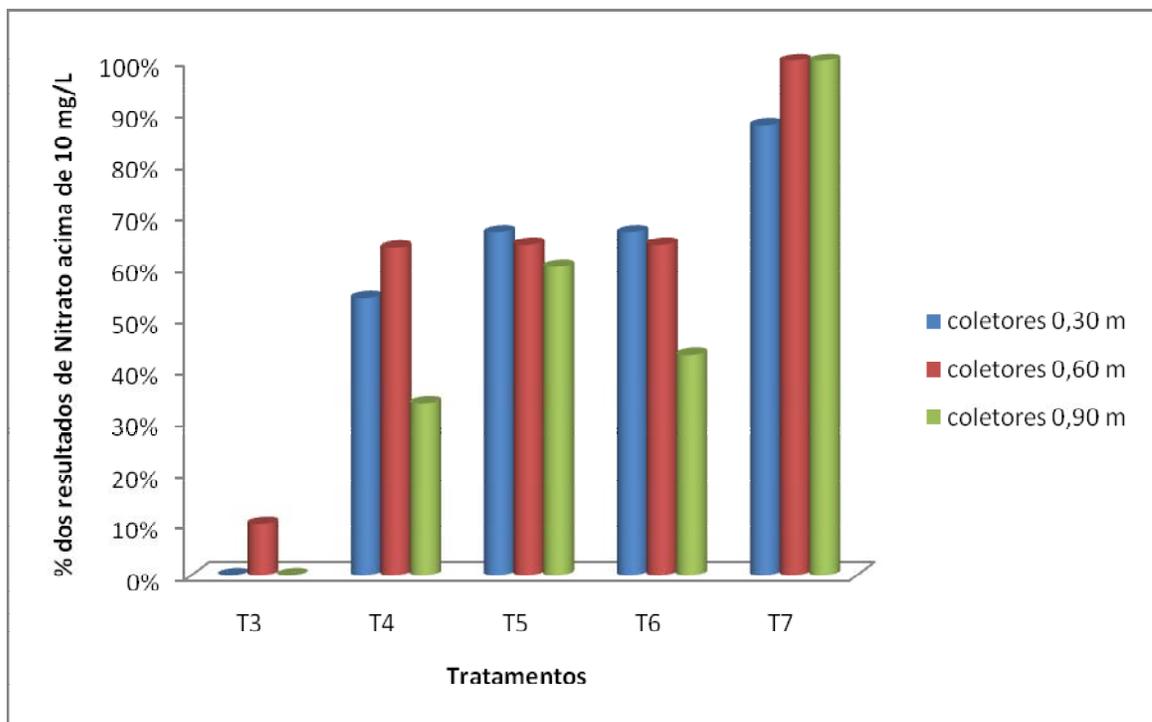
Quanto ao atributo nitrato, verifica-se na Tabela 5.7 que nos tratamentos irrigados com água, a concentração de nitrato (expresso em N) nos coletores variou de 1,00 a 1,32 mg L<sup>-1</sup>, sendo que 96% dos lixiviados apresentaram valores de 1,00 mg L<sup>-1</sup>, que representa o LDM. Em relação aos resultados dos percolados do tratamento 8 (não irrigado), verifica-se que os valores situaram-se entre 1,00 a 2,00 mg L<sup>-1</sup>, sendo que 79% dos resultados apresentaram valores do LDM.

Os resultados dos lixiviados dos tratamentos irrigados com esgotos variaram de 1,00 a 154,00 mg L<sup>-1</sup>. Verifica-se que na 2ª e 3ª campanha os valores de nitrato (expresso em N) são mais elevados, devido à menor diluição do líquido retirado dos coletores, tendo em vista o baixo índice pluviométrico no período.

**Tabela 5.7 - Concentração média e amplitude dos valores de nitrato ( $\text{mg L}^{-1}$ ) das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas quatro campanhas de monitoramento**

| Tratamento | Prof. Coletores (m) | 1ª Campanha |       |       | 2ª Campanha |       |       | 3ª Campanha |       |        | 4ª Campanha |       |       |
|------------|---------------------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------|--------|-------------|-------|-------|
|            |                     | Média       | Menor | Maior | Média       | Menor | Maior | Média       | Menor | Maior  | Média       | Menor | Maior |
| T1         | 0,30                | 1,00        | 1,00  | 1,00  | 1,00        | 1,00  | 1,00  | 1,00        | 1,00  | 1,00   | 1,00        | 1,00  | 1,00  |
|            | 0,60                | 1,00        | 1,00  | 1,00  | 1,00        | 1,00  | 1,00  | 1,08        | 1,00  | 1,32   | 1,00        | 1,00  | 1,00  |
|            | 0,90                | 1,00        | 1,00  | 1,00  | 1,00        | 1,00  | 1,00  | 1,00        | 1,00  | 1,00   | 1,00        | 1,00  | 1,00  |
| T2         | 0,30                | 1,00        | 1,00  | 1,00  | 1,00        | 1,00  | 1,00  | 1,01        | 1,00  | 1,04   | 1,00        | 1,00  | 1,00  |
|            | 0,60                | 1,00        | 1,00  | 1,00  | 1,00        | 1,00  | 1,00  | 1,00        | 1,00  | 1,00   | 1,00        | 1,00  | 1,00  |
|            | 0,90                | 1,00        | 1,00  | 1,00  | 1,00        | 1,00  | 1,00  | 1,00        | 1,00  | 1,00   | 1,00        | 1,00  | 1,00  |
| T3         | 0,30                | 1,00        | 1,00  | 1,00  | 5,02        | 5,02  | 5,02  | 2,95        | 2,95  | 2,95   | 1,80        | 1,00  | 2,60  |
|            | 0,60                | 1,00        | 1,00  | 1,00  | 1,00        | 1,00  | 1,00  | 41,05       | 1,00  | 120,00 | 1,23        | 1,00  | 1,70  |
|            | 0,90                | 1,00        | 1,00  | 1,00  | *           | *     | *     | 1,00        | 1,00  | 1,00   | 1,00        | 1,00  | 1,00  |
| T4         | 0,30                | 1,00        | 1,00  | 1,00  | 16,94       | 4,42  | 25,80 | 125,45      | 96,90 | 154,00 | 24,99       | 7,67  | 44,20 |
|            | 0,60                | 1,00        | 1,00  | 1,00  | 45,87       | 44,20 | 48,80 | 23,90       | 17,90 | 29,90  | 12,28       | 7,63  | 15,90 |
|            | 0,90                | 1,00        | 1,00  | 1,00  | *           | *     | *     | 11,60       | 11,60 | 11,60  | 14,08       | 7,43  | 19,60 |
| T5         | 0,30                | 3,50        | 1,00  | 8,49  | 51,15       | 42,30 | 60,00 | 100,35      | 71,70 | 129,00 | 27,15       | 17,60 | 36,70 |
|            | 0,60                | 3,86        | 1,00  | 6,39  | 56,30       | 41,30 | 64,20 | 49,53       | 31,10 | 62,70  | 11,57       | 4,17  | 15,20 |
|            | 0,90                | 1,00        | 1,00  | 1,00  | *           | *     | *     | 36,47       | 25,20 | 45,60  | 7,77        | 7,75  | 7,79  |
| T6         | 0,30                | 1,00        | 1,00  | 1,00  | 34,87       | 27,40 | 39,30 | 81,03       | 23,90 | 133,00 | 22,75       | 5,14  | 38,40 |
|            | 0,60                | 2,66        | 1,00  | 5,53  | 44,00       | 30,10 | 59,30 | 76,90       | 41,40 | 105,00 | 19,77       | 1,00  | 41,20 |
|            | 0,90                | 1,00        | 1,00  | 1,00  | 40,10       | 40,10 | 40,10 | 21,89       | 9,57  | 28,30  | 11,48       | 4,66  | 18,30 |
| T7         | 0,30                | 20,80       | 7,61  | 41,50 | 54,10       | 54,10 | 54,10 | 98,90       | 63,80 | 134,00 | 29,90       | 26,50 | 33,30 |
|            | 0,60                | 15,35       | 15,20 | 15,50 | 60,47       | 54,20 | 65,70 | 51,77       | 17,80 | 80,00  | 47,60       | 24,50 | 63,80 |
|            | 0,90                | 14,30       | 14,30 | 14,30 | 38,70       | 38,70 | 38,70 | 89,50       | 89,50 | 89,50  | 5,95        | 5,95  | 5,95  |
| T8         | 0,30                | 1,00        | 1,00  | 1,00  | *           | *     | *     | 1,53        | 1,05  | 2,00   | 1,00        | 1,00  | 1,00  |
|            | 0,60                | *           | *     | *     | *           | *     | *     | 1,00        | 1,00  | 1,00   | 1,07        | 1,00  | 1,14  |
|            | 0,90                | 1,00        | 1,00  | 1,00  | *           | *     | *     | 1,00        | 1,00  | 1,00   | *           | *     | *     |

(\*) – Não havia líquido percolado no coletor



**Figura 5.4 - Percentagem dos resultados de nitrato acima de 10 mg L<sup>-1</sup> nos coletores de drenagem livre**  
(Fonte: AUTOR, 2009)

Observando a Figura 5.4, verifica-se que os tratamentos 3 e 4 que receberam, respectivamente, um terço e metade da necessidade hídrica da planta de esgotos, apresentaram menor percolação de nitrato (expresso em N) em relação aos tratamentos 5, 6 e 7 que receberam maiores quantidades de esgoto.

Na comparação dos tratamentos 5 e 6, que receberam quantidades de efluente similares, nota-se, no tratamento 5, coletor de 0,90 m de profundidade, uma maior percentagem de nitrato (expresso em N) que ultrapassaram 10 mg L<sup>-1</sup>. Dessa forma, pode-se inferir que a adubação proporciona um incremento na lixiviação do nitrato (expresso em N), pois o tratamento 5, além de ter recebido a necessidade hídrica da planta de efluente também recebeu adubação.

Verifica-se também que 100% dos resultados de nitrato (expresso em N), nos lixiviados coletados a 0,90 m de profundidade, no tratamento 7, apresentaram valores acima de 10 mg L<sup>-1</sup>.

Em relação ao atributo nitrato (expresso em N), não foram encontrados na literatura estudos relacionados à irrigação de eucalipto com efluente, onde se analisou a eficiência do sistema solo-planta quanto a esse atributo. Há experimentos que o nitrato foi analisado, mas em outras culturas, como o milho. Em um experimento realizado em Limeira-SP onde se aplicou efluente de lagoa anaeróbia por meio de sulcos de infiltração, 50 % dos resultados no perfil do solo (na 2<sup>a</sup> safra) ultrapassaram o limite de 10 mg L<sup>-1</sup> de nitrato (expresso em N), estabelecido na Portaria n<sup>o</sup> 518/2004 do Ministério da Saúde que define os parâmetros de potabilidade da água e na Resolução CONAMA n<sup>o</sup> 396 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas (SILVA, 2003).

Diante dos resultados de nitrato (expresso em N) nos percolados, verifica-se que aplicação de nitrogênio acima da demanda da planta pode ocasionar a lixiviação de nitrato, podendo comprometer a qualidade da água subterrânea, especialmente em solos com as características semelhantes às do experimento. Dessa forma, os tratamentos T3 e T4, que receberam menores quantidades de efluente, demonstraram bom desenvolvimento e menor risco de contaminação da água subterrânea, enquanto o tratamento T7, que recebeu 1,5 vezes a necessidade hídrica da planta de esgoto, apresentou valores elevados para nitrato, indicando que as plantas, embora tivessem maior desenvolvimento, não absorveram o nitrato tão bem quanto nos tratamentos onde se aplicaram subdosagens de efluente.

Ressalta-se que as análises realizadas neste trabalho se referem a amostras até 0,90 m de profundidade, não se podendo chegar a conclusões sobre o que viria a acontecer com a água subterrânea. Até o momento, de acordo com os resultados obtidos em pesquisa paralela que está sendo desenvolvida no experimento, os valores ainda estão bem abaixo do limite de potabilidade.

### 5.2.5 Metais

Segundo Cintra (2008) a presença de metais potencialmente tóxicos (metais pesados) causa grandes preocupações quanto à proteção de aquíferos utilizados para abastecimento público, pois suas concentrações limitantes são muito restritivas.

Devido às características dos esgotos tratados na ETE City Petrópolis (exclusivamente doméstico), alguns metais potencialmente tóxicos como cádmio, cobre e cromo, monitorados nos coletores, tiveram resultados abaixo do LDM - limite de detecção do método aplicado (LDM cádmio -  $0,001 \text{ mg L}^{-1}$ , LDM cobre -  $0,005 \text{ mg L}^{-1}$  e LDM cromo -  $0,005 \text{ mg L}^{-1}$ ). Quanto ao atributo zinco, os resultados excederam o LDM, porém, apresentaram valores pequenos, variando entre  $0,01$  a  $0,67 \text{ mg L}^{-1}$ , bem abaixo do valor máximo permitido para água potável ( $5 \text{ mg L}^{-1}$ ), estabelecido pela Portaria nº 518 do Ministério da Saúde.

Em relação ao atributo sódio, observa-se na Tabela 5.8 que 96% dos resultados dos percolados nos tratamentos irrigados com água, situaram-se com valores baixos, entre  $0,05$  a  $4,30 \text{ mg L}^{-1}$ , apenas em dois coletores de  $0,90 \text{ m}$  de profundidade, os lixiviados ultrapassaram essa faixa (T2 na 1ª campanha e T1 na 3ª campanha).

No tratamento não irrigado (T8) todos os resultados ficaram abaixo de  $1,00 \text{ mg L}^{-1}$ , exceto o percolado do coletor de  $0,30 \text{ m}$  de profundidade que na 3ª campanha mostrou-se discrepante.

Nos tratamentos irrigados com efluentes, o valor de sódio situou-se no intervalo de  $0,15$  a  $364,80 \text{ mg L}^{-1}$ . Verifica-se que em alguns casos o valor de sódio nos percolados suplanta a concentração média de sódio no efluente aplicado, que é de  $79,80 \text{ mg L}^{-1}$  (acima do valor recomendado pela CETESB, 2006). Isso pode ser justificado pela lixiviação de parte dos sais anteriormente retida no solo.

**Tabela 5.8 - Concentração média e amplitude dos valores de sódio ( $\text{mg L}^{-1}$ ) das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas quatro campanhas de monitoramento**

| Tratamento | Prof. Coletores (m) | 1ª Campanha |       |       | 2ª Campanha |        |        | 3ª Campanha |        |        | 4ª Campanha |        |        |
|------------|---------------------|-------------|-------|-------|-------------|--------|--------|-------------|--------|--------|-------------|--------|--------|
|            |                     | Média       | Menor | Maior | Média       | Menor  | Maior  | Média       | Menor  | Maior  | Média       | Menor  | Maior  |
| T1         | 0,30                | 1,08        | 0,05  | 3,89  | 0,44        | 0,23   | 0,72   | 0,78        | 0,27   | 1,64   | 0,29        | 0,20   | 0,40   |
|            | 0,60                | 0,11        | 0,05  | 0,16  | 0,22        | 0,09   | 0,34   | 0,66        | 0,25   | 1,31   | 0,38        | 0,28   | 0,48   |
|            | 0,90                | 1,92        | 1,92  | 1,92  | 0,18        | 0,18   | 0,18   | 6,93        | 0,27   | 13,58  | 0,68        | 0,55   | 0,80   |
| T2         | 0,30                | 0,73        | 0,19  | 1,51  | 0,28        | 0,13   | 0,46   | 0,34        | 0,24   | 0,54   | 0,76        | 0,41   | 1,00   |
|            | 0,60                | 0,19        | 0,11  | 0,28  | 0,27        | 0,17   | 0,36   | 0,43        | 0,41   | 0,48   | 0,38        | 0,15   | 0,57   |
|            | 0,90                | 9,72        | 4,30  | 15,13 | 0,51        | 0,10   | 1,20   | 0,17        | 0,07   | 0,27   | 0,10        | 0,05   | 0,14   |
| T3         | 0,30                | 10,00       | 7,23  | 12,77 | 63,80       | 63,80  | 63,80  | 100,65      | 100,65 | 100,65 | 7,73        | 3,32   | 12,14  |
|            | 0,60                | 20,05       | 8,82  | 39,80 | 222,30      | 222,30 | 222,30 | 112,53      | 90,64  | 145,68 | 45,79       | 24,65  | 70,67  |
|            | 0,90                | 17,09       | 10,38 | 21,10 | *           | *      | *      | 31,48       | 31,48  | 31,48  | 21,75       | 10,28  | 33,22  |
| T4         | 0,30                | 15,10       | 6,86  | 30,08 | 124,31      | 91,36  | 188,80 | 343,10      | 321,40 | 364,80 | 86,49       | 19,35  | 132,69 |
|            | 0,60                | 24,07       | 13,91 | 32,80 | 129,64      | 125,04 | 134,80 | 55,10       | 37,53  | 72,66  | 48,47       | 21,09  | 66,64  |
|            | 0,90                | 24,61       | 16,22 | 33,00 | *           | *      | *      | 53,04       | 53,04  | 53,04  | 55,53       | 32,63  | 68,29  |
| T5         | 0,30                | 46,17       | 18,75 | 62,56 | 126,08      | 119,44 | 132,72 | 129,93      | 122,75 | 137,10 | 54,81       | 43,07  | 66,55  |
|            | 0,60                | 39,62       | 25,52 | 57,38 | 130,93      | 122,40 | 144,48 | 98,43       | 64,50  | 123,52 | 42,19       | 19,33  | 75,67  |
|            | 0,90                | 11,89       | 9,42  | 14,35 | *           | *      | *      | 69,41       | 24,30  | 115,92 | 14,39       | 9,30   | 18,50  |
| T6         | 0,30                | 17,25       | 2,65  | 33,20 | 147,35      | 108,20 | 171,68 | 151,25      | 112,25 | 201,50 | 51,54       | 15,47  | 69,96  |
|            | 0,60                | 19,68       | 2,93  | 30,58 | 135,91      | 99,44  | 176,72 | 110,71      | 44,16  | 143,28 | 85,96       | 67,92  | 104,00 |
|            | 0,90                | 5,02        | 3,20  | 6,12  | 82,56       | 82,56  | 82,56  | 40,08       | 12,11  | 55,80  | 42,01       | 37,19  | 46,83  |
| T7         | 0,30                | 55,00       | 37,51 | 84,58 | 115,44      | 115,44 | 115,44 | 173,84      | 85,38  | 262,30 | 71,56       | 68,30  | 74,81  |
|            | 0,60                | 46,52       | 20,53 | 72,50 | 97,72       | 85,74  | 120,72 | 90,57       | 64,20  | 130,88 | 46,71       | 0,15   | 113,31 |
|            | 0,90                | 54,16       | 54,16 | 54,16 | 107,76      | 107,76 | 107,76 | 134,32      | 134,32 | 134,32 | 146,22      | 146,22 | 146,22 |
| T8         | 0,30                | 0,05        | 0,05  | 0,05  | *           | *      | *      | 3,25        | 0,62   | 5,87   | 0,43        | 0,35   | 0,52   |
|            | 0,60                | *           | *     | *     | *           | *      | *      | 0,14        | 0,05   | 0,23   | 0,34        | 0,14   | 0,55   |
|            | 0,90                | 0,04        | 0,04  | 0,04  | *           | *      | *      | 0,95        | 0,95   | 0,95   | *           | *      | *      |

(\*) – Não havia líquido percolado no coletor

Nota-se que na 2ª e 3ª campanha os valores de sódio foram mais elevados, devido à baixa diluição dos percolados no coletor, tendo em vista o reduzido índice pluviométrico no período.

Em uma pesquisa desenvolvida pela Universidade Federal de Viçosa, utilizando efluente tratado de fabricação de celulose branqueada, na irrigação de eucalipto, os valores da concentração de sódio nos lixiviados chegaram a suplantar a concentração do efluente, o que foi justificado pela lixiviação de parte de sais anteriormente retida no solo (REZENDE et al., 2009).

As altas concentrações de sódio nos percolados de tratamentos irrigados com efluentes é um indicativo de que o tipo de solo do experimento possui permeabilidade suficiente para permitir a rápida lixiviação de sódio no perfil. Na Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde que define os parâmetros de potabilidade da água e na Resolução CONAMA nº 396 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, é estabelecido o valor máximo permitido de 200 mg L<sup>-1</sup> de sódio para consumo humano. Nota-se, em alguns casos, que os percolados ultrapassaram esse limite, porém, salienta-se que os lixiviados foram monitorados até 0,90 m de profundidade, dessa forma, não há como concluir que a água subterrânea está sendo contaminada por sódio.

Quanto ao atributo chumbo, verifica-se na caracterização dos líquidos aplicados na irrigação, a concentração média de 0,10 mg L<sup>-1</sup> no efluente proveniente da ETE City Petrópolis (LDM – para esgoto) e na água proveniente da represa uma concentração média de 0,001 mg L<sup>-1</sup> (LDM – para água). Na Tabela 5.9 são apresentados os resultados obtidos nas campanhas de monitoramento.

**Tabela 5.9 - Concentração média e amplitude dos valores de chumbo ( $\text{mg L}^{-1}$ ) das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas quatro campanhas de monitoramento**

| Tratamento | Prof. Coletores (m) | 1ª Campanha |       |       | 2ª Campanha |       |       | 3ª Campanha |       |       | 4ª Campanha |       |       |
|------------|---------------------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|
|            |                     | Média       | Menor | Maior |
| T1         | 0,30                | 0,084       | 0,071 | 0,120 | 0,060       | 0,028 | 0,085 | 0,018       | 0,017 | 0,019 | 0,019       | 0,011 | 0,034 |
|            | 0,60                | 0,049       | 0,049 | 0,049 | 0,059       | 0,055 | 0,062 | 0,049       | 0,023 | 0,082 | 0,035       | 0,020 | 0,055 |
|            | 0,90                | 0,047       | 0,047 | 0,047 | 0,112       | 0,112 | 0,112 | 0,054       | 0,053 | 0,055 | 0,072       | 0,034 | 0,110 |
| T2         | 0,30                | 0,108       | 0,014 | 0,201 | 0,045       | 0,008 | 0,107 | 0,020       | 0,006 | 0,032 | 0,022       | 0,008 | 0,040 |
|            | 0,60                | 0,044       | 0,032 | 0,069 | 0,031       | 0,017 | 0,056 | 0,030       | 0,019 | 0,046 | 0,035       | 0,017 | 0,054 |
|            | 0,90                | 0,120       | 0,103 | 0,137 | 0,082       | 0,046 | 0,118 | 0,063       | 0,014 | 0,152 | 0,025       | 0,012 | 0,037 |
| T3         | 0,30                | 0,132       | 0,125 | 0,138 | 0,025       | 0,025 | 0,025 | 0,058       | 0,058 | 0,058 | 0,025       | 0,008 | 0,041 |
|            | 0,60                | 0,027       | 0,014 | 0,043 | 0,067       | 0,067 | 0,067 | 0,048       | 0,017 | 0,072 | 0,055       | 0,015 | 0,095 |
|            | 0,90                | 0,126       | 0,053 | 0,186 | *           | *     | *     | 0,064       | 0,064 | 0,064 | 0,043       | 0,021 | 0,065 |
| T4         | 0,30                | 0,055       | 0,025 | 0,135 | 0,020       | 0,011 | 0,025 | *           | *     | *     | 0,017       | 0,004 | 0,037 |
|            | 0,60                | 0,042       | 0,022 | 0,066 | 0,036       | 0,034 | 0,038 | 0,026       | 0,020 | 0,032 | 0,019       | 0,017 | 0,022 |
|            | 0,90                | 0,212       | 0,180 | 0,245 | *           | *     | *     | 0,139       | 0,139 | 0,139 | 0,033       | 0,013 | 0,055 |
| T5         | 0,30                | 0,031       | 0,027 | 0,036 | 0,033       | 0,027 | 0,039 | 0,032       | 0,030 | 0,035 | 0,025       | 0,021 | 0,029 |
|            | 0,60                | 0,042       | 0,016 | 0,070 | 0,033       | 0,012 | 0,047 | 0,031       | 0,013 | 0,048 | 0,110       | 0,007 | 0,385 |
|            | 0,90                | 0,071       | 0,024 | 0,119 | *           | *     | *     | 0,037       | 0,025 | 0,043 | 0,014       | 0,013 | 0,016 |
| T6         | 0,30                | 0,058       | 0,037 | 0,078 | 0,020       | 0,013 | 0,027 | 0,018       | 0,016 | 0,022 | 0,019       | 0,014 | 0,027 |
|            | 0,60                | 0,096       | 0,030 | 0,225 | 0,035       | 0,023 | 0,054 | 0,049       | 0,012 | 0,134 | 0,030       | 0,009 | 0,050 |
|            | 0,90                | 0,047       | 0,015 | 0,088 | 0,073       | 0,073 | 0,073 | 0,033       | 0,018 | 0,042 | 0,027       | 0,018 | 0,036 |
| T7         | 0,30                | 0,074       | 0,030 | 0,099 | 0,030       | 0,030 | 0,030 | 0,037       | 0,028 | 0,046 | 0,033       | 0,028 | 0,038 |
|            | 0,60                | 0,082       | 0,070 | 0,094 | 0,057       | 0,044 | 0,067 | 0,029       | 0,012 | 0,040 | 0,021       | 0,020 | 0,022 |
|            | 0,90                | 0,305       | 0,305 | 0,305 | 0,187       | 0,187 | 0,187 | 0,082       | 0,082 | 0,082 | 0,033       | 0,033 | 0,033 |
| T8         | 0,30                | 0,082       | 0,042 | 0,125 | *           | *     | *     | 0,027       | 0,009 | 0,044 | 0,026       | 0,020 | 0,031 |
|            | 0,60                | *           | *     | *     | *           | *     | *     | 0,046       | 0,046 | 0,046 | 0,017       | 0,016 | 0,017 |
|            | 0,90                | *           | *     | *     | *           | *     | *     | 0,012       | 0,012 | 0,012 | *           | *     | *     |

(\*) – Não havia líquido percolado no coletor

Nota-se que nos tratamentos irrigados com água, a concentração de chumbo nos coletores variou de 0,006 a 0,201  $\text{mg L}^{-1}$ , nos coletores dos tratamentos irrigados com efluentes os valores situaram-se entre 0,004 a 0,385  $\text{mg L}^{-1}$  e nos coletores do tratamento 8 (tratamento não irrigado) a concentração foi de 0,009 a 0,125  $\text{mg L}^{-1}$ .

Verifica-se, em alguns casos, que o valor de chumbo nos coletores ultrapassou o padrão de potabilidade (0,01  $\text{mg L}^{-1}$  estabelecido pela Portaria nº 518 do Ministério da Saúde). Isso pode ser justificado pelo fato da área do experimento ser próxima ao antigo local de disposição de resíduos sólidos da cidade de Franca (lixão). Segundo

informações, de pessoas ligadas ao colégio agrícola, no passado, existiam no local do experimento resquícios de resíduos, inclusive pilhas.

Porém, mesmo com valores elevados de chumbo nos percolados, verifica-se, até o momento, que não há indícios de contaminação do lençol freático, pois conforme os resultados obtidos em pesquisa paralela que está sendo desenvolvida no experimento, os valores de chumbo na água subterrânea ainda estão bem abaixo do limite de potabilidade.

Diante dos resultados dos metais potencialmente tóxicos (metais pesados) nos lixiviados, com exceção do atributo chumbo (que apresentou altos valores devido a um passivo de contaminação), verificou-se que a concentração desses atributos nos percolados não representou problemas, isso devido às características do efluente aplicado e a alta capacidade do solo na retenção desses metais, devido à baixa solubilidade e alta adsorção específica dos mesmos.

### **5.2.6 Condutividade Elétrica**

Verifica-se na Tabela 5.10 que nos tratamentos irrigados com água, a condutividade elétrica dos percolados teve valores variando de 29 a 682  $\mu\text{s.cm}^{-1}$ , não havendo alteração significativa entre as campanhas. No tratamento 8, que não recebeu nenhum tipo de irrigação, os resultados situaram-se entre 64 a 341  $\mu\text{s.cm}^{-1}$  e nos coletores dos tratamentos irrigados com efluentes os valores ficaram no intervalo de 2 a 1.982  $\mu\text{s.cm}^{-1}$ .

**Tabela 5.10 - Valores médios e amplitude da condutividade elétrica ( $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) das amostras extraídas dos coletores de drenagem nas quatro campanhas de monitoramento**

| Tratamento | Prof. Coletores (m) | 1ª Campanha |       |       | 2ª Campanha |       |       | 3ª Campanha |        |       | 4ª Campanha |       |       |
|------------|---------------------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|--------|-------|-------------|-------|-------|
|            |                     | Média       | Menor | Maior | Média       | Menor | Maior | Média       | Menor  | Maior | Média       | Menor | Maior |
| T1         | 0,30                | 153         | 78    | 282   | 62          | 62    | 62    | 90          | 68     | 112   | 79          | 29    | 171   |
|            | 0,60                | 126         | 104   | 149   | 77          | 77    | 77    | 157         | 65     | 320   | 99          | 45    | 194   |
|            | 0,90                | 294         | 294   | 294   | 136         | 136   | 136   | 390         | 98     | 682   | 132         | 30    | 235   |
| T2         | 0,30                | 190         | 131   | 279   | 225         | 225   | 225   | 131         | 83     | 211   | 120         | 72    | 196   |
|            | 0,60                | 183         | 131   | 264   | 103         | 103   | 103   | 92          | 63     | 129   | 88          | 49    | 137   |
|            | 0,90                | 449         | 271   | 627   | 130         | 76    | 185   | 214         | 73     | 390   | 87          | 52    | 122   |
| T3         | 0,30                | 197         | 130   | 264   | 487         | 487   | 487   | 778         | 778,00 | 778   | 186         | 116   | 257   |
|            | 0,60                | 306         | 260   | 349   | *           | *     | *     | 1.147       | 636,00 | 1982  | 327         | 170   | 420   |
|            | 0,90                | 422         | 414   | 438   | *           | *     | *     | 392         | 392,00 | 392   | 284         | 276   | 293   |
| T4         | 0,30                | 304         | 175   | 520   | 1.144       | 1.144 | 1.144 | 3           | 2      | 3     | 741         | 212   | 1.077 |
|            | 0,60                | 381         | 321   | 477   | 1.001       | 1.001 | 1.001 | 504         | 399    | 609   | 495         | 312   | 626   |
|            | 0,90                | 316         | 258   | 375   | *           | *     | *     | 516         | 516    | 516   | 476         | 317   | 568   |
| T5         | 0,30                | 395         | 269   | 470   | 790         | 790   | 790   | 1.379       | 1301   | 1.458 | 620         | 451   | 790   |
|            | 0,60                | 434         | 350   | 510   | 1.086       | 1.086 | 1.086 | 1.107       | 723    | 1.435 | 447         | 130   | 877   |
|            | 0,90                | 319         | 314   | 324   | *           | *     | *     | 763         | 396    | 1.018 | 209         | 155   | 257   |
| T6         | 0,30                | 234         | 167   | 278   | 1.090       | 1.090 | 1.090 | 904         | 2      | 1.444 | 610         | 255   | 877   |
|            | 0,60                | 317         | 243   | 440   | 848         | 848   | 848   | 1.342       | 651    | 1.782 | 846         | 734   | 990   |
|            | 0,90                | 267         | 241   | 310   | 761         | 761   | 761   | 543         | 203    | 745   | 353         | 307   | 400   |
| T7         | 0,30                | 543         | 235   | 742   | 999         | 999   | 999   | 454         | 2      | 906   | 703         | 673   | 734   |
|            | 0,60                | 515         | 382   | 648   | 1.015       | 1.015 | 1.015 | 1.051       | 672    | 1.434 | 1.113       | 678   | 1.391 |
|            | 0,90                | 661         | 661   | 661   | 997         | 997   | 997   | 1.629       | 1.629  | 1.629 | 1.291       | 1.291 | 1.291 |
| T8         | 0,30                | 119         | 102   | 149   | *           | *     | *     | 132         | 72     | 192   | 120         | 111   | 130   |
|            | 0,60                | *           | *     | *     | *           | *     | *     | 225         | 109    | 341   | 149         | 119   | 180   |
|            | 0,90                | 64          | 64    | 64    | *           | *     | *     | 76          | 76     | 76    | *           | *     | *     |

(\*) – Não havia líquido percolado no coletor

Os altos valores de condutividade elétrica nas amostras coletadas nas parcelas irrigadas justificam-se devido ao incremento de sais, provenientes do esgoto nos tratamentos irrigados com efluentes e no solo nos tratamentos irrigados com água, proporcionando assim o aumento na condutividade do líquido percolado.

Não foi possível identificar nenhuma distinção considerável quanto às diferenças de concentração nas diferentes profundidades dos coletores.

### 5.2.7 pH

As características do solo são influenciadas pelo pH, pois esse parâmetro interfere na disponibilização de nutrientes, solubilidade de elementos tóxicos e na atividade microbiana (Souza, 2004). Dessa forma, águas de irrigação acentuadamente ácidas ou alcalinas podem causar toxicidade às plantas. Conforme Paganini (1997), é desejável que o pH das águas usadas na irrigação se mantenha numa faixa de 6,5 a 8,4.

Nas terceira e quarta campanhas de monitoramento dos percolados, o parâmetro pH foi analisado. Nos tratamentos irrigados com água o pH variou de 5,6 a 6,7 na terceira campanha e 5,2 a 7,3 na quarta campanha. Nos tratamentos irrigados com efluente o valor do pH situou-se entre 5,6 a 6,6 na terceira campanha e 5,6 a 8,2 na quarta campanha. No tratamento 8 (não irrigado) o valor do pH situou-se entre 6,6 a 7,3. Não se observou diferença significativa entre o pH dos tratamentos irrigados com água e esgoto, tampouco com relação à profundidade dos coletores.

Nota-se que os resultados do pH nos lixiviados do experimento aproximaram-se dos valores obtidos no experimento de Limeira-SP, onde se aplicou efluente da indústria cítrica em eucalipto da espécie *grandis*, por meio de sulcos de infiltração, nessa pesquisa, os resultados de pH nos coletores de drenagem Livre mantiveram uma média de 6,40 no coletor de 0,50 m e 6,87 no coletor de 1,50 m de profundidade.

## 6. CONCLUSÕES

De acordo com as características naturais do local do experimento, do período da pesquisa e dos resultados obtidos, são descritas as conclusões do presente trabalho:

- O reuso de efluente sanitário, proveniente de lagoa facultativa, na irrigação da cultura de eucalipto é viável tanto no aspecto agrônômico como no sanitário, mostrando ser uma alternativa adequada no pós-tratamento de efluente e devendo ser considerado como uma possibilidade para o atendimento a padrões de lançamento mais restritivos.
- O sistema solo-planta mostrou-se eficiente na remoção dos poluentes presentes no efluente. Os lixiviados apresentaram resultados com elevado grau de depuração para: a demanda química de oxigênio (DQO) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) em relação ao efluente aplicado.
- Os metais potencialmente tóxicos (metais pesados) cromo, cádmio, zinco e cobre não representaram problemas na qualidade dos lixiviados, pois em grande parte das amostras, os resultados desses atributos situaram-se abaixo do limite de detecção do método (LDM).

- O desenvolvimento do DAP do eucalipto foi maior nos tratamentos irrigados com efluente quando comparado aos demais.
- A irrigação da cultura de eucalipto com água natural mostrou ser desnecessária.
- A irrigação com subdosagens de efluente (T3 e T4), em relação à necessidade hídrica das plantas, demonstrou bom desenvolvimento e menor risco de contaminação da água subterrânea.

## 7. RECOMENDAÇÕES

Com base nos dados obtidos nessa pesquisa, são apresentadas algumas recomendações para continuidade dos estudos no experimento:

- Realizar um balanço mais efetivo em relação à massa de nitrogênio, tanto no que se refere à adubação, quanto à irrigação com esgoto, analisando a quantidade de nitrogênio que é realmente absorvida pela planta, o quanto é volatilizado e transformado em nitrato.
- Monitorar freqüentemente a qualidade da água percolada, no intuito de minimizar os riscos de contaminação por meio da percolação de nitrato, chumbo e sódio.
- Continuar o monitoramento da qualidade dos lixiviados nos coletores, pois os resultados obtidos não possibilitaram a realização de um tratamento estatístico mais detalhado.



## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Campanha "Água é vida e vida não se desperdiça**. Disponível em <http://www.ana.gov.br/SalaImprensa/aguavida/aguavida.asp>>. Acessada em maio de 2009.

ANDRADE NETO, C. **O uso de esgotos sanitários e efluentes tratados na irrigação**. Anais 9º Congresso Nacional de Irrigação. 1992.

ARAÚJO, G. C. **Avaliação do pós-tratamento de efluentes de reatores UASB através de um sistema de aplicação superficial de esgotos no solo**. 1998. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG.

AYERS, R.S, WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de H.R.Gheyi, J.F. de Medeiros, F.A.V. Damasceno. Universidade Federal da Paraíba (Campina Grande, UFPB), 1991.

BELLINGIERI, P. H. **Avaliação de contaminação em água subterrânea, pela prática de irrigação com efluente desinfetado de lagoa anaeróbia no cultivo de milho**. 2005. 133p. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil), Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BRASIL. Normas Brasileiras - NBR-13.969/97 Estabelece os usos previstos para o esgoto tratado. ABNT – **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, 1997

BRASIL. Portaria nº 518, do Ministério da Saúde, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências., **Diário Oficial da União**, Brasília, 26/03/04.

BRASIL. Resolução nº 54, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências, **Diário Oficial da União**, Brasília, 09/03/06.

BRASIL. Resolução nº 396, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências, **Diário Oficial da União**, Brasília, 07/04/08.

CALDER, I.R.; HALL, R.L; ADLARD, P.G. **Growth and water use of forest plantations**. Chichester: J. Wiley, 1992. 391 p.

CARRARO, J.V. **Tratamento de efluente bruto cítrico líquido no solo por meio de sulcos largos de infiltração**. 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil), Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CETESB. **Norma Técnica nº 6410 - Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas**. São Paulo, 1988.

CETESB. **Instrução técnica nº 31. Aplicação de água de reuso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura**. São Paulo, 2006.

CETESB. **Reuso de água**. Disponível em <[www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)>. Acessada em agosto de 2008.

CINTRA FILHO, O.A. **Influência na qualidade da água subterrânea pela irrigação com efluente de lagoa anaeróbia em cultura de milho**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil), Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CORAUCCI FILHO, B. **Tratamento do esgoto doméstico no solo pelo método do escoamento superficial**. 1992. Doutorado. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP. 1992.

CORAUCCI FILHO, B. **Aplicação no solo de água residuária cítrica contendo óleo essencial utilizando a técnica de irrigação por sulcos de infiltração**. In: I Simpósio Latinoamericano de Tratamiento y Reuso del Agua y Residuos Industriales. UNAM. México, 1998.

CORAUCCI FILHO, B.; CHERNICHARO, C. A .L.; ANDRADE NETO, C. O .; NOUR, E.A.A.; ANDREOLI, F. DE N.; SOUZA, H.N.; MONTEGGIA, L. O .; VON SPERLING, M.; LUCAS FILHO, L.; AISSE, M.M.; FIGUEIREDO, R.F.; STEFANUTTI, R. **Bases conceituais da disposição controlada de águas residuárias no solo**. In: Campos, J.R. (coordenador). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo, Rio de Janeiro: ABES, 1999a. 321-356p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas**. Colombo, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Cultivo do eucalipto (Versão eletrônica – agosto/2003)**. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/index.htm>>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Características Físico-Hídricas e Disponibilidade de Água no Solo**. Disponível em < <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/circul21.pdf>>. Acessada em agosto de 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Comunicado técnico 221 - uso de resíduos de colheita e industriais em plantações de eucaliptos**. Disponível em <[http://www.cnpf.embrapa.br/publica/comuntec/edicoes/com\\_tec221.pdf](http://www.cnpf.embrapa.br/publica/comuntec/edicoes/com_tec221.pdf)>. Acessada em julho de 2009.

FALKINER, R.A.; POLGLASE, P.J. Transport of phosphorus through soil in an effluent-irrigated tree plantation. **Australian Journal of Soil Research**, v.35, p.385-397, 1997.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2a . Guaíba: Agropecuária, 2000.

FIESP. **Conservação e reuso de água. Manual de orientações para o setor industrial**. Disponível em <<http://www.fiesp.com.br/publicacoes/pdf/ambiente/reuso.pdf>>. Acessada em julho de 2009.  
FONSECA, S. P. P. **Meio ambiente: uso planejado de águas residuárias**. Disponível em <<http://www.riosurbanos.com.br>> . Acessada em junho de 2008.

FORSYTHE, W.M. **Densidad de las partículas del suelo: método com água**. Turriabla: IICA, 1971. 14p.

GHEYI, H.R.; KÖNIG, A.; CEBALLOS, B.S.O.; DAMASCENO, F.A.V. **Tratamento e Uso de Águas Residuárias**. UFPB: Campina Grande, 1999. 110 p.

GILDE, L.C. ; KESTER, A.S. ; LAW, J.P. ; NEELEY, C.H.; PARMELEE, D. M. **A spray irrigation system for treatment of cannery wastes**. *Journal Water Pollution Control Federation*, 43 (10): 2011-2025, 1971.

GRUBER, Y.B.G. **Otimização da lâmina de irrigação na produção de mudas clonais de eucalipto**. 2006. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

HAMILTON, A.J.; BOLAND, A.M.; STEVENS, D.; KELLY, J.; RADCLIFFE, J.; ZIEHRL, A.; DILLON, P.; PAULIN, B., **Position of the Australian horticultural industry with respect to the use of reclaimed water**. *Agricultural Water Management* 71, 2005.p. 181-209.

HARUVY, N. Wastewater irrigation decision-making: farm sector interests versus the nation's . **International Water & Irrigation Review**. Tel Aviv. 1997.v.17, n.4, p24-26, 28-31, 33-34.

HIRATA, R. **Recursos hídricos – decifrando a terra, oficina de textos**. São Paulo, 2001.

IPT. **Relatório nº 40.672 - diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do plano da bacia hidrográfica do sapucaí-mirim/grande**. Franca, 1999.

KRUZIC, A. P. **Natural Treatment and on-site processes**. **Water Environment Research**. 1997.

LANDA, H.; CAPELLA, A.; JIMÉNEZ, B. **Particle size distribution in an effluent from an advanced primary treatment and its removal during filtration**. *J. Water Pollution Control Federation*, 114(3):621-638, 1988. *Water Sci. Tech.*, 36(4): 159-165, 1997.

MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M.; PARKER, J. **Brock biology microorganisms, 9.ed.** New Jersey, 2000.

MCBRIDE, M.B. **Toxic Metal Accumulation from Agricultural Use of Sludge: Are USEPA Regulations Protective?**, *Journal of Environmental Quality*, V. 24, p.5-18, 1995.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 3ed. New York: McGraw-Hill, 1334 p. 1991.

MORELLI, E. B., **Reuso de Água de Lavagem de Veículos**. 2005. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Universidade de São Paulo, USP, São Paulo.

NETO, E.D.; SILVA, J.G.F. **Manejo da água no mamoeiro**. 2007. Disponível em <[http://www.fundagres.org.br/downloads/pi-mamao/2007\\_cap\\_04.pdf](http://www.fundagres.org.br/downloads/pi-mamao/2007_cap_04.pdf)>. Acessada em junho de 2009.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M. Aspectos nutricionais e ambientais do eucalipto. **Silvicultura**, São Paulo, v.17, n. 68, p.10-17, 1996.

NUCCI, N.L.R.; ARAÚJO, J.L.B.; SILVA, R.J.C. **Tratamento de esgotos municipais por disposição no solo e sua aplicabilidade no estado de São Paulo**. Centro de Estudos e Pesquisas de Administração Municipal, São Paulo, 1978.

PAGANINI W.S. **Disposição de Esgotos no Solo (escoamento à superfície)**. Fundo Editorial da AESABESP, São Paulo, 1997, 232p.

PAGANINI, W. S.; SOUZA, A.; BOCCHIGLIERI, M. M., Avaliação do comportamento de metais pesados no tratamento de esgotos por disposição no solo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, V.9, N. 3, p. 225-239. 2004.

PIVELI R. P. **Monitoramento de Sistema de Lagoas de Estabilização, Pós-Tratamento por Processo Físico-Químico, Desinfecção Final e Utilização Agrícola**. Tese de Livre-docência. Escola Politécnica da USP, EPUSP, Brasil, 2006.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1996. (IAC. Boletim técnico 100).

REAMI, L. **Avaliação de produtividade agrícola e de concentrações de metais nos grãos, de cultura de milho irrigada com efluente anaeróbio**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil), Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

REBOUÇAS, A. **Reuso da água diminui o risco hídrico**. Disponível em <<http://www.revistacustobrasil.com.br/pdf/01/mat011.pdf>>. Acessada em julho de 2009.

REZENDE, A.A.P.; MATOS, A.T.; SILVA, C.M. **Aplicação da água residuária do processo de fabricação da celulose kraft branqueada na fertirrigação de eucalipto**. Disponível em <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-344.pdf>>. Acessada em julho de 2009.

SALASSIER, B. **Manual de Irrigação**. Viçosa: Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa, 1995. 463p.

SALGOT, M.; CAMPOS, C.; GALOFRE, B.; TAPIAS, J.C., Biological control tools for wastewater reclamation and reuse. A critical review. *Water Science and Technology*. V.43, N.10, p.195-201. 2001.

SAMPAT, P. **Choques freáticos – a poluição dos principais mananciais de água doce do mundo**. Worldwatch Institute, 2000.

SCANAVACA JUNIOR, L. **Caracterização silvicultural, botânica e tecnológica do *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e do seu potencial para utilização em serraria**. 2001. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVA, R.S.P. **Reuso agrícola do efluente de um filtro anaeróbio utilizando um sistema de irrigação por sulcos**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil), Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA – SBS. **O setor florestal brasileiro. 2005**. Disponível em <<http://www.sbs.gov.br/estatisticas.htm>>. Acessada em março de 2009.

SOUZA, S.B.S. **Irrigação por Infiltração com Efluente de Lagoa Anaeróbia em Solo Cultivado com Milho (*Zea mays* L.)**. 2004. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas.

U.S. Environmental Protection Agency. 1976. **Quality Criteria for Water. EPA-R3-73-033, A Report of the National Academy of Science-National Academy of Engineering Committee on Water Quality Criteria**. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

U.S. Environmental Protection Agency. 1981. **Process design manual for land treatment of municipal wastewater**. Cincinnati.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). 2004. **Guidelines for Water Reuse**. Disponível na Internet em: <http://www.epa.gov>. Acessada em março de 2009.

VAN GENUCHTEN, M.TH. A closed – form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

VIEIRA, D.B. **As Técnicas de Irrigação**. 2.ed. São Paulo. Globo, 1995.

VIEIRA, C. B. **Estudo da absorção de metais em cultura de milho irrigado com efluente de esgoto doméstico empregado a reflexão total com radiação síncroton (SR-TXRF)** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil), Faculdade de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

VON SPERLING, M., **Lagoas de Estabilização**. Belo Horizonte, MG. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2002.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 3 ed. v.1 Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

WEBER, S.; KHAN, S.; HOLLENDER, J. **Human risk assessment of organic contaminants in reclaimed wastewater used for irrigation**. *Desalination*, 2006.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. 218p. 2006.

## 9. APÊNDICE

**Tabela A.1 - Análise de variância pelo método de Tukey (teste paramétrico)**

| <b>Comparação<br/>entre<br/>tratamentos</b> | <b>abr/08<br/>(p)</b> | <b>jun/08<br/>(p)</b> | <b>set/08<br/>(p)</b> | <b>dez/08<br/>(p)</b> | <b>fev/09<br/>(p)</b> | <b>mar/09<br/>(p)</b> | <b>jun/09<br/>(p)</b> |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| T1 e T2                                     | < 0.05                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                |
| T1 e T3                                     | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                |
| T1 e T4                                     | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                |
| T1 e T5                                     | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                |
| T1 e T6                                     | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                |
| T1 e T7                                     | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                |
| T1 e T8                                     | ns                    | ns                    | ns                    | ns                    | ns                    | < 0.05                | < 0.05                |
| T2 e T3                                     | ns                    | ns                    | < 0.05                | ns                    | < 0.01                | < 0.01                | < 0.05                |
| T2 e T4                                     | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                |
| T2 e T5                                     | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                |
| T2 e T6                                     | ns                    | ns                    | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.05                |
| T2 e T7                                     | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                |
| T2 e T8                                     | < 0.05                | < 0.05                | < 0.05                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                |
| T3 e T4                                     | ns                    | < 0.05                | ns                    | ns                    | ns                    | ns                    | ns                    |
| T3 e T5                                     | ns                    | < 0.05                | ns                    | < 0.05                | ns                    | ns                    | ns                    |
| T3 e T6                                     | ns                    |
| T3 e T7                                     | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | ns                    |
| T3 e T8                                     | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                |
| T4 e T5                                     | ns                    |
| T4 e T6                                     | ns                    |
| T4 e T7                                     | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | ns                    | ns                    | ns                    |
| T4 e T8                                     | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                |
| T5 e T6                                     | ns                    | < 0.05                | ns                    | ns                    | ns                    | ns                    | ns                    |
| T5 e T7                                     | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | ns                    | ns                    | ns                    | ns                    |
| T5 e T8                                     | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                |
| T6 e T7                                     | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.05                | < 0.05                | < 0.05                |
| T6 e T8                                     | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                |
| T7 e T8                                     | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                | < 0.01                |

Obs: p < 0.01 e p < 0.05 (diferença significativa); ns – (diferença não significativa)

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)