



UNICAMP

**GIOVANI ARCHANJO BROTA**

**ENSAIOS ECOTOXICOLÓGICOS EM ORGANISMOS-TESTE *DAPHNIA*  
*SIMILIS* E *VIBRIO FISCHERI* NA AVALIAÇÃO DE EFLUENTES  
SANITÁRIOS APLICADOS NA CULTURA DE EUCALIPTO  
(*EUCALIPTUS UROGRANDIS*)**

**Campinas**

**2012**



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

**GIOVANI ARCHANJO BROTA**

**ENSAIOS ECOTOXICOLÓGICOS EM ORGANISMOS-  
TESTE *DAPHNIA SIMILIS* E *VIBRIO FISCHERI* NA  
AVALIAÇÃO DE EFLUENTES SANITÁRIOS  
APLICADOS NA CULTURA DE EUCALIPTO  
(*EUCALIPTUS UROGRANDIS*)**

**Orientador: Prof. Dr. Alexandre Nunes Ponezi**

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.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO OU TESE DEFENDIDA PELO ALUNO GIOVANI ARCHANJO BROTA E ORIENTADO PELO PROF. DR. ALEXANDRE NUNES PONEZI.

---

CAMPINAS

2012

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

Brota, Giovani Archanjo

B794e Ensaio ecotoxicológico em organismos-teste *Daphnia similis* e  
*Vibrio fischeri*  
na avaliação de efluentes sanitários aplicados na cultura de eucalipto  
(*Eucalyptus urograndis*) / Giovani Archanjo Brota. --Campinas, SP:  
[s.n.], 2012.

Orientador: Alexandre Nunes Ponezi.

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

1. Águas residuais de irrigação. 2. Ecotoxicologia. 3. *Daphnia similis*.  
4. Bactéria luminosas. I. Ponezi, Alexandre Nunes.  
II. Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Assays in ecotoxicological organisms *Daphnia similis*  
and *Vibrio fischeri* in the evaluation of wastewater  
applied in culture of eucalyptus (*Eucalyptus urograndis*)

Palavras-chave em Inglês: Wastewater irrigation, Ecotoxicology, *Daphnia*  
*similis*, Luminous bacteria

Área de concentração: Saneamento e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Denis Miguel Roston, Ronaldo Teixeira Pelegrini

Data da defesa: 28-08-2012

Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

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

**ENSAIOS ECOTOXICOLÓGICOS EM ORGANISMOS-TESTE *DAPHNIA*  
*SIMILIS* E *VIBRIO FISCHERI* NA AVALIAÇÃO DE EFLUENTES  
SANITÁRIOS APLICADOS NA CULTURA DE EUCALIPTO  
(*EUCALIPTUS UROGRANDIS*)**

**Giovani Archanjo Brota**

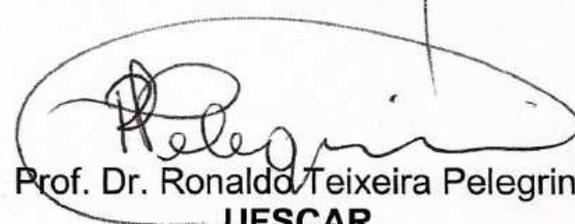
Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



**Prof. Dr. Alexandre Nunes Ponezi**  
**Presidente e Orientador(a)/FEC /Unicamp**



**Prof. Dr. Denis Miguel Roston**  
**FEAGRI/Unicamp**



**Prof. Dr. Ronaldo Teixeira Pelegrini**  
**UFSCAR**

Campinas, 28 de Agosto de 2012.

## **Dedicatória**

*Agradeço minha família, aos amigos, ao meu orientador e a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.*

## Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Alexandre Ponezi, pela orientação, dedicação, apoio, paciência e ensinamentos;

Ao Prof. Denis Miguel Roston por todo apoio, ensinamentos e parceria;

Ao Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho pelo apoio e ensinamentos;

Ao Prof. Dr. Ronaldo Stefantti pelo apoio e ensinamentos;

Ao Prof. Dr. Ronaldo Teixeira Pelegrini pelo apoio, ensinamentos e incentivos de longa data;

Ao meus Pais Antonio e Jovelina, meu irmão Tales, meu grande amor Taize, ao Guilherme e Magda, pelos incentivos, apoio e acreditarem em mim;

À FAPESP (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo) pelos recursos empregados na pesquisa;

Aos laboratórios da FEAGRI e FEC - Unicamp que apoiaram tecnicamente o projeto;

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

À SABESP, Unidade Pardo/Grande com sede em Franca-SP, pelos profissionais e colegas, Orlando Cintra Filho, Alex Henrique Veronez, Luís Antônio Salomão, pela disponibilização do efluente da ETE City Petrópolis, pelo apoio logístico e laboratorial;

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

Aos amigos Túlio Ribeiro, Luccas Marinho, Guilherme Silva, Mario Foco pelo apoio e colaboração direta no desenvolvimento do trabalho;

As amigas Noely Bochi, Bethania Vieira Cavalheiro, Adriana Ribeiro Francisco, Talita Castanho pelo apoio nos momentos mais difíceis e colaboração direta no trabalho;

A todos os usuários do laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp que colaboraram e respeitosamente compartilharam o tempo ou a falta dele.

## Resumo

O tratamento de esgoto doméstico é de fundamental importância para a manutenção da qualidade dos corpos hídricos e da vida aquática assim como para a conservação dos recursos naturais. Neste foco, os sistemas de tratamento como lagoas de estabilização são largamente utilizados no Brasil para tratamento de efluentes sanitários. O uso de efluente sanitário proveniente do pós-tratamento de lagoa de estabilização utilizado na irrigação de culturas agrícolas é recomendado como prática complementar ao tratamento do efluente, fornecendo assim um aporte de nutrientes necessários ao desenvolvimentos de diversas culturas agrícolas. No entanto essa prática deve ser avaliada quanto aos impactos ambientais. Com esse intuito, foi desenvolvida uma pesquisa para avaliar os potenciais efeitos tóxicos proveniente da aplicação de efluente tratado por lagoas facultativas na cultura de *Eucalyptus urograndis*. O local escolhido para a pesquisa foi uma área cedida pela ETE Prof. Carmelino Correa Junior (Colégio Agrícola), no município de Franca-SP. A área foi dividida em 8 tratamentos e irrigada de acordo com a dose de "água" recomendada para a cultura de eucalipto da seguinte forma: T1 dose de Água, sem adubação química, T2 dose de Água, com adubação química, T3 Efluente – 1/3 da dose, com adubação química, T4 Efluente – 1/2 dose com, adubação química, T5 Efluente – 1 dose, com adubação química, T6 Efluente – 1 dose, sem adubação, T7 Efluente – 1,5 dose, sem adubação química e T8 - sem irrigação e sem adubação química (testemunha). A pesquisa avaliou a presença de elementos e compostos com potencial tóxico em detrimento da aplicação de efluente tratado, por meio de análises físico-químicas e ecotoxicológicas, correlacionando a concentração de metais, sais e o potencial efeito tóxico causado por compostos alelopáticos liberados pelo eucalipto. Assim foi possível inferir a partir dos resultados obtidos nos testes com *Daphnia similis* e *Vibrio fischeri*, onde foram obtidos valores de CE50 superiores a 75% para a maior parte dos tratamentos, indicando um baixa toxicidade ou em alguns caso sua ausência.

**Palavras-chave:** reúso agrícola, efluente sanitário, ecotoxicologia, *Daphnia similis*, *Vibrio fischeri*

## Abstract

The domestic wastewater treatment is critical for maintaining the quality of water bodies and aquatic life as well as for the conservation of natural resources. In this focus, treatment systems and stabilization ponds are widely used in Brazil for the treatment of wastewater. The use of sanitary effluent from the post-treatment stabilization pond used for irrigation of agricultural crops is recommended as a complementary practice to the treatment of the effluent, thus providing a supply of nutrients necessary for the development of several crops. However, this practice should be evaluated for environmental impacts. For this purpose, we developed a survey to assess the potential toxic effects from the application of effluent ponds for the culture of *Eucalyptus optional urograndis*, the site chosen for the research was an area ceded by Prof. ETE. Carmelino Correa Junior (Agricultural College) in the city of Franca-SP. The area was divided into eight treatments and irrigated according to the dose of "water" recommended for the cultivation of eucalyptus as follows: T1 dose of water, without chemical fertilizer, T2 dose of water with chemical fertilizer, effluent T3 - third dose, with chemical fertilizer, effluent T4 - 1/2 dose, chemical fertilizer, effluent T5 - 1 dose, with chemical fertilizer, effluent T6 - 1 dose, without fertilization, T7 Effluent - 1.5 dose without chemical fertilizer and T8 - without irrigation and without chemical fertilizer. (control). This study evaluated the presence of elements and compounds with toxic potential detriment of the application of treated wastewater through physical-chemical analyzes and ecotoxicological correlating the concentration of metals, salts and the potential toxic effect caused by allelopathic compounds released from eucalyptus. Thus it was possible to conclude from the results obtained in tests on *Daphnia similis* and *Vibrio fischeri*, which were obtained EC50 values higher than 75% for most treatments, indicating a low toxicity and in some cases failing.

**Keywords:** agricultural reuse, sanitary effluent, ecotoxicology, *Daphnia similis*, *Vibrio fischeri*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Distribuição da água doce superficial no mundo.....	3
<b>Figura 2</b> - Distribuição da água doce superficial no continente americano.....	4
<b>Figura 3</b> - Distribuição do consumo de água por atividade no Brasil.....	5
<b>Figura 4</b> - Desenho esquemático de uma lagoa facultativa.....	8
<b>Figura 5</b> - Histórico da área de plantio florestal no Brasil, 2005-2011.....	11
<b>Figura 6</b> - Exemplo de cadeia alimentar do ecossistema aquático com organismos e diferentes níveis tróficos (NT). .....	13
<b>Figura 4.1</b> - Localização da área experimental.....	21
<b>Figura 4.2</b> - Apresenta a localização da área, escala 1:50.000.....	22
<b>Figura 4.3</b> - Representação esquemática de uma parcela. ....	23
<b>Figura 4.4</b> - Distribuição das parcelas e os respectivos tratamentos.....	25
<b>Figura 4.5</b> - Poço de monitoramento de água subterrânea instalado a jusante da área experimental.....	26
<b>Figura 4.6</b> - Poço de monitoramento de água subterrânea instalado a jusante da área experimental.....	27
<b>Figura 4.7</b> - Aspersores utilizado na pesquisa.....	28
<b>Figura 4.8</b> - Croqui do sistema de irrigação implantado na área experimental.....	29
<b>Figura 4.9</b> - Reservatórios de água e efluente implantados na pesquisa.....	30
<b>Figura 4.10</b> - Tensiômetro Instalado na Área Experimental.....	32
<b>Figura 4.11</b> - Esquema de montagem do dispositivo coletor de drenagem livre. ....	33
<b>Figura 4.12</b> - Modelo do coletor de drenagem livre instalado no experimento .....	33
<b>Figura 4.13</b> - Vista da lagoa facultativa ETE City Petrópolis, Franca-SP. ....	34
<b>Figura 4.14</b> - Represa utilizada como fonte de água para irrigação. ....	35
<b>Figura 4.15</b> - Coleta do líquido percolado.....	36
<b>Figura 4.16</b> - Tubos de ensaio com diferentes diluições do efluente.....	38
<b>Figura 4.17</b> - Tubos de ensaio com diferentes diluições do efluente.....	38
<b>Figura 4.18</b> - Incubadora dos organismos <i>Daphnia similis</i> . ....	38
<b>Figura 4.19</b> - Colônias de Fotobactérias <i>Vibrio fischeri</i> . ....	39
<b>Figura 4.20</b> - Analisador de Toxicidade (Microtox® 500). ....	40
<b>Figura 5.1</b> - Carta Controle de Sensibilidade com o organismo <i>Daphnia similis</i> exposto a substância de referência NaCl - (Cloreto de Sódio) em 48 horas de exposição	53

<b>Figura 5.2</b> - Carta Controle de Sensibilidade com o organismo <i>Vibrio fischeri</i> exposto a substância de referência ZnSO <sub>4</sub> - (Sulfato de Zinco) em 15 minutos de exposição .....	54
<b>Figura 5.3</b> - Percentagem de Inibição para o organismo <i>Vibrio fischeri</i> em amostras de solo na camada de (0 - 0,20 metros) Líquido Intersticial.....	59
<b>Figura 5.4</b> - Percentagem de Inibição para o organismo <i>Vibrio fischeri</i> em amostras de solo na camada de (0 - 0,05 metros) Líquido Intersticial.....	60
<b>Figura 5.5</b> - Percentagem de Inibição para o organismo <i>Vibrio fischeri</i> em amostras de solo na camada de (0 - 0,40 metros) Líquido Intersticial.....	63
<b>Figura 5.6</b> - Percentagem de Inibição para o organismo <i>Vibrio fischeri</i> em amostras de solo na camada de (0 - 0,05 metros) Líquido Intersticial.....	64
<b>Figura 5.7</b> - Percentagem de Inibição para o organismo <i>Vibrio fischeri</i> em amostras de solo na camada de (0 - 0,20 metros) Líquido Intersticial.....	65
<b>Figura 5.8</b> - Percentagem de Inibição para o organismo <i>Vibrio fischeri</i> em amostras de solo na camada de (0 - 0,40 metros) Líquido Intersticial.....	65

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Eficiência das lagoas facultativas primárias.....	8
<b>Tabela 2</b> - Área plantada com eucalipto no mundo, em 2000.....	10
<b>Tabela 3</b> - Definições de alguns termos utilizados em testes de toxicidade .....	15
<b>Tabela 4</b> - Classificação das Faixas de Toxicidade segundo (BULICH, 1992). .....	18
<b>Tabela 4.1</b> - Composição de Cada Tratamento Estudado.....	24
<b>Tabela 4.2</b> - Resumo da pluviometria e das lâminas de irrigação.....	31
<b>Tabela 5.1</b> - Caracterização do afluente da ETE City Petrópolis (ensaios realizados entre 10/2010 e 10/2011, sendo realizadas 3 análises neste período). .....	42
<b>Tabela 5.2</b> - Caracterização do efluente da ETE City Petrópolis (ensaios realizados entre 10/2010 e 10/2011, sendo realizadas 3 análises neste período). .....	44
<b>Tabela 5.3</b> - Caracterização da água da represa (ensaios realizados entre 10/2010 e 10/2011, sendo realizadas 3 análises neste período). .....	45
<b>Tabela 5.4</b> - Resultados médios das análises de fertilidade do solo e metais nos tratamentos na área experimental em Agosto/2010 na profundidade de 0 a 0,2m. ....	47
<b>Tabela 5.5.</b> Resultados das análises químicas de solo proveniente da cultura de eucalipto, nas profundidades 0-0,20 m; 0,20-0,40 m; 0,40-0,60 m; 0,60-0,80 m e 0,80-1,00 m. Resultados coletados em novembro de 2007 divulgado por (RAMIREZ, 2009).....	48
<b>Tabela 5.6</b> - Resultados médios das análises de fertilidade do solo e metais nos tratamentos na área experimental em Agosto/2010 na profundidade de 0,2 a 0,4m. ....	49
<b>Tabela 5.7.1</b> - Tratamento 1.....	51
<b>Tabela 5.7.2</b> - Tratamento 2.....	51
<b>Tabela 5.7.3</b> - Tratamento 3.....	51
<b>Tabela 5.7.4</b> - Tratamento 4.....	51
<b>Tabela 5.7.5</b> - Tratamento 5.....	52
<b>Tabela 5.7.6</b> - Tratamento 6.....	52
<b>Tabela 5.7.7</b> - Tratamento 7.....	52
<b>Tabela 5.7.8</b> - Tratamento 8.....	52
<b>Tabela 5.8</b> - Resultados da Toxicidade 1ª Etapa (Coleta Abril de 2010) .....	55

<b>Tabela 5.9</b> - Resultados da Toxicidade 2 <sup>a</sup> Etapa (Coleta março de 2011).....	56
<b>Tabela 5.10</b> - Toxicidade nos organismos <i>Vibrio fischeri</i> e <i>Daphnia similis</i> das amostras dos poços de monitoramento .....	57
<b>Tabela 5.11</b> - Valores Orientadores Segundo CONAMA 396/08 (Concentração de Metais nos Poços de Monitoramento). .....	58
<b>Tabela 5.12</b> - Comparativo das Percentagem dos compostos encontrados nas amostras de óleos essenciais de Citronela ( <i>Cymbopogon nardus</i> ) e Eucalipto ( <i>Eucalyptus citrodora</i> ) .....	61
<b>Tabela 5.13</b> - Valores Orientadores Para Solo CONAMA 420 de 2009.....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al	Alumínio
B	Boro
Ca	Cálcio
CE	Condutividade Elétrica
CE50	Concentração Efetiva à 50% dos organismos
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
$\text{dS m}^{-1}$	deciSiemens por metro
$\mu\text{S cm}^{-1}$	microSiemens por centímetro
DQO	Demanda Química de Oxigênio
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
FEAGRI	Faculdade de Engenharia Agrícola
FEC	Faculdade de Engenharia Civil
GPS	Global Positioning System
H	Hidrogênio
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
LQ	Limite de Quantificação
LQP	Limite de Quantificação do Parâmetro
mca	Megapascal
Mg	Magnésio
mE.L <sup>-1</sup>	miliequivalente por litro
Mn	Manganês
MO	Matéria orgânica
Mo	Molibidênio
Ms	Massa do solo seco a 105 a 110 <sup>0</sup> C (g)
Na <sup>+</sup>	íon sódio
Ca <sup>2+</sup>	íon cálcio
Mg <sup>2</sup>	Íon magnésio
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> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sulfato de amônio
Ni	Níquel
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Nitrito
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrato
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio
P	Fósforo

(PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	Ortofosfato
Pb	Chumbo
pH	Potencial hidrogeniônico
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
PVC	Poli cloreto de vinila
S	Enxofre
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
UGRHI	Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo
Unicamp	Universidade Estadual de Campinas
USP	Universidade de São Paulo
VMP	Valor Máximo Permitido
WHO	Water Health Organization
Zn	Zinco

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	2
2.1. Objetivo Geral .....	2
2.2. Objetivos específicos .....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1. Consumo de Água.....	3
3.2. Demanda de Água na Agricultura .....	5
3.3. Lagoas Facultativas .....	7
3.4. Eucalipto .....	9
3.5. Ecotoxicologia .....	11
3.6. Toxicidade.....	12
3.7. Ensaio Ecotoxicológicos.....	13
3.8. Teste de Toxicidade Aguda com <i>Daphnia similis</i> .....	16
3.9. Teste de Toxicidade Aguda com <i>Vibrio fischeri</i> .....	17
3.10. Normas e Legislações Sobre os Testes Ecotoxicológicos .....	19
3.11. Efeito dos Compostos Alelopáticos.....	19
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1. Localização do Experimento .....	21
4.2. Instalação da Pesquisa .....	22
4.3. Delineamento Experimental .....	23
4.4. Avaliação dos Poços de Monitoramento da Água Subterrânea .....	26
4.5. Caracterização e Capacidade de Retenção de Água do Solo .....	27
4.6. Sistema de Irrigação .....	28
4.7. Irrigação e Precipitação Pluviométrica .....	30
4.8. Tensiômetros .....	31
4.9. Coletores de Drenagem Livre .....	32
4.10. Monitoramento dos Percolados .....	36
4.11. Ensaio com o Micro Crustáceo <i>Daphnia similis</i> para obtenção da Toxicidade Aguda	37
4.12. Ensaio com a Bactéria <i>Vibrio fischeri</i> para Obtenção da Toxicidade Aguda	39

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	41
5.1. Resultados da Caracterização do Afluente, Efluente e Água da Represa Utilizados na Irrigação .....	41
5.2. Resultado das Análises Químicas da Água Percolada nos Coletores de Drenagem Livre .....	50
5.3. Resultados Ecotoxicológicos.....	53
5.4. Resultados Ecotoxicológicos da Água dos Coletores de Drenagem.....	55
5.5. Resultados Ecotoxicológicos dos Poços de Monitoramento .....	57
5.6. Resultados Ecotoxicológicos das Amostras de Solo (Coleta Julho 2010)....	59
5.7. Resultados Ecotoxicológicos das Amostras de Solo (Coleta Julho 2011)....	63
6. CONCLUSÕES .....	66
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país privilegiado pela disponibilidade hídrica que possui, mesmo assim existem regiões em seu território que sofrem com a má distribuição e com o desperdício desse recurso. O crescente desenvolvimento econômico do país traz como consequência o aumento do consumo de água para os centros urbanos, industriais e agropecuários, aumentando o volume de esgotos gerados e não utilizáveis. A ideia de valorização da água residuária surge então como forma de minimizar os impactos gerados pelo aumento da população.

O estado de São Paulo se destaca por apresentar o maior Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil e acelerado desenvolvimento socioeconômico. Possui uma economia bastante diversificada, porém poucas áreas para expansão do setor agrícola. Para os agricultores desta região é necessária a busca por novas tecnologias para elevar a produtividade das culturas com baixo investimento.

Diante dessa necessidade uma alternativa é o uso de efluente doméstico tratado para aplicação na agricultura, uma vez que este "insumo" possui elevada concentração de macro e micronutrientes necessários ao desenvolvimento vegetativo das culturas, e com isso contribuindo diretamente para a melhoria da qualidade dos corpos d'água. Entretanto, o correto uso de efluente tratado em culturas agrícolas depende do bom funcionamento dos sistemas de tratamento, sendo necessário de um eficiente monitoramento em sua aplicação.

Toda via, o simples monitoramento de parâmetros físico-químicos, não são efetivamente conclusivos, devido ao potencial de interação e locomoção diferenciado de cada elemento, quando aplicados em diferentes tipos de solos. Com o intuito de avaliar amplamente os efeitos da irrigação com efluente doméstico tratado, faz se necessário à utilização de ensaios ecotoxicológicos, onde qualquer efeito adverso poderá inibir a plena atividade do organismo, sendo assim um instrumento importante de controle quando comparado com parâmetros tradicionais.

O objetivo desse trabalho foi realizar uma investigação direta quanto à aplicação de efluente tratado na cultura de eucalipto, avaliando por meio de ensaios ecotoxicológicos com *Daphnias similis* e *Vibrio fischeri* os potências de toxicidade entre o efluente, o solo, e a planta.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo Geral

Propõe-se com esse trabalho realizar a avaliação ecotoxicológica de água de reuso proveniente de sistema de tratamento de esgoto doméstico por lagoa facultativa utilizado na irrigação por aspersão na cultura de eucaliptos. A pesquisa tem como objetivos específicos:

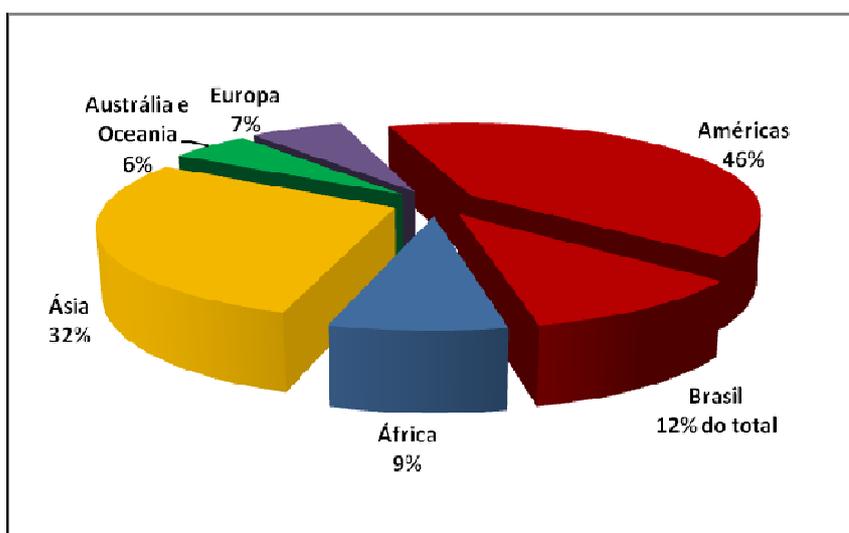
### 2.2. Objetivos específicos

1. Avaliação da toxicidade aguda em *Daphnia similis* e *Vibrio fischeri* no afluente, efluente da lagoa facultativa e água da represa utilizada na irrigação;
2. Avaliação da toxicidade aguda em *Daphnia similis* e *Vibrio fischeri* na água dos coletores de drenagem livre do solo nas profundidades de 0,30 m; 0,60 m e 0,90 m de todos os tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 e T8) e repetições assim como a água do lençol freático retirada dos poços de monitoramento nas profundidades de 8,0 m;
3. Avaliação da toxicidade aguda em *Vibrio fischeri* no solo nas profundidades de (0,0 a 0,05 m), (0,05 a 0,20 m) e (0,20 a 0,40 m) de todos os tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 e T8) e suas repetições.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

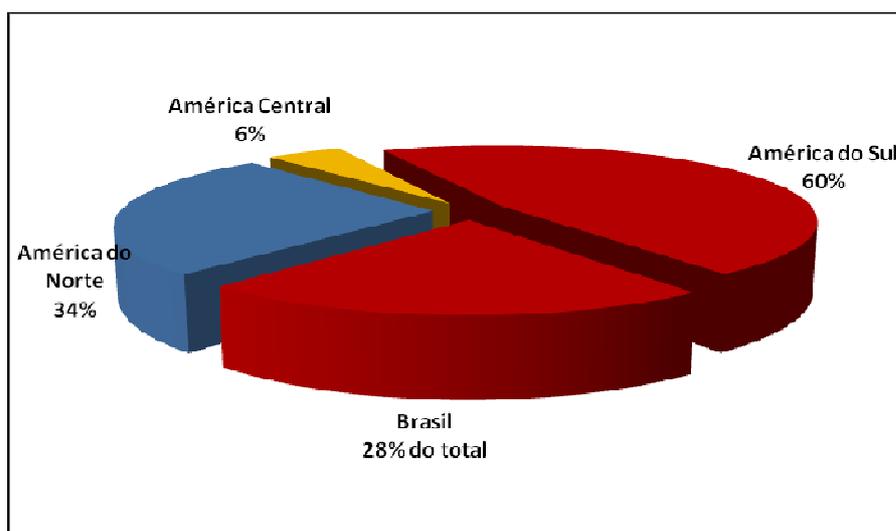
#### 3.1. Consumo de Água

Segundo o Relatório GEO BRASIL RECURSOS HIDRÍCOS, 2007, o Brasil tem posição privilegiada no mundo, em relação à disponibilidade de recursos hídricos. A vazão média anual dos rios em território brasileiro é de cerca de 180 mil m<sup>3</sup>/s. O que corresponde a aproximadamente 12% da disponibilidade mundial de recursos hídricos, que é de 1,5 milhões de m<sup>3</sup>/s, conforme pode ser visto na Figura 1.



**Figura 1** - Distribuição da água doce superficial no mundo  
(Fonte: Relatório GEO BRASIL Recursos Hídricos, 2007).

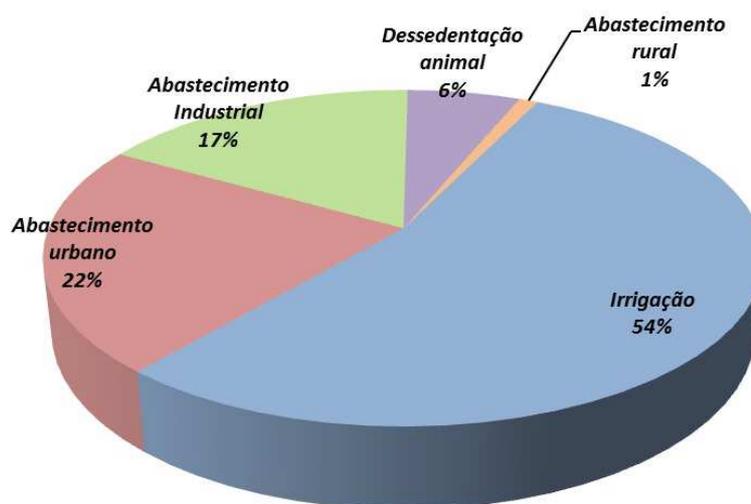
Se forem levadas em conta as vazões oriundas em território estrangeiro e que ingressam no país (Amazônica – 86.321 mil m<sup>3</sup>/s; Uruguai – 878 m<sup>3</sup>/s e Paraguai 595 m<sup>3</sup>/s), a vazão média total atinge valores da ordem de 267 mil m<sup>3</sup>/s (18 % da disponibilidade mundial). A distribuição da água doce superficial no continente americano está demonstrada na Figura 2.



**Figura 2** - Distribuição da água doce superficial no continente americano  
(Fonte: Relatório GEO BRASIL Recursos Hídricos, 2007).

O Brasil é considerado rico em termos de vazão média por habitante, com cerca de 33 mil m<sup>3</sup>/hab/ano, mas apresenta uma grande variação espacial e temporal das vazões. A Região Hidrográfica Amazônica, por exemplo, detém 74 % dos recursos hídricos superficiais e é habitada por menos de 5 % da população brasileira. A menor vazão média por habitante é observada na região hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental, com média inferior a 1.200 m<sup>3</sup>/hab/ano. Em algumas bacias dessa região são registrados valores menores que 500 m<sup>3</sup>/hab/ano. Destacam-se ainda, na condição de regiões com pouca disponibilidade relativa, algumas bacias das regiões hidrográficas: Atlântico Leste, Parnaíba e São Francisco. Na porção semiárida dessas regiões, onde o fenômeno da seca tem repercussões mais graves, a água é um fator crítico para a população. A presença dos açudes para o armazenamento de água e regularização das vazões dos rios intermitentes é fundamental e estratégica para o abastecimento humano, dessedentação de animais e irrigação, dentre outros usos. (Relatório GEO BRASIL Recursos Hídricos, 2007).

Estudos conduzidos pela Agência Nacional de Água (ANA, 2012) obtiveram a demanda de água por atividade, indicando a vazão retirada que para a média nacional, a maior demanda é da agricultura, sendo 54% da irrigação e 1% de abastecimento rural, seguida pelo abastecimento urbano de 22%, abastecimento industrial 17%, dessedentação animal de 6%, conforme Figura 3. Quanto ao uso, a maior parte dos recursos hídricos empregado no Brasil vai para atividades produtivas, com destaque para a irrigação. Por causa da boa oferta desse recurso no Centro-Oeste, por exemplo, a região transformou-se em importante fronteira agrícola do País. Nas regiões Sudeste e Sul, onde se encontram as maiores concentrações urbanas e industriais brasileiras, as deficiências encontradas são, sobretudo, de qualidade das águas.



**Figura 3** – Distribuição do consumo de água por atividade no Brasil  
(Fonte: ANA, 2012).

### 3.2. Demanda de Água na Agricultura

O Brasil é um país com grande disponibilidade de água, em seu território localizam-se as maiores reservas hídricas do planeta. Entretanto, algumas das bacias hidrográficas estão distantes dos centros populacionais e industriais, tornando inviável o uso deste recurso. (MANCUSO e SANTOS, 2003).

No Brasil, as áreas irrigadas compreendem cerca de 5,75 milhões de hectares, que representa apenas 7,4% da área total em lavouras temporárias e permanentes (Censo Agropecuário, 2006). A região Sul apresenta cerca de 35% da área irrigada, seguida da região Sudeste com cerca de 30%, Nordeste com 24% e as regiões Centro-Oeste e Norte, juntas, com 11% do total.

O desperdício de água na irrigação agrícola ocorre devido ao uso de métodos que favorecem perdas de até 60% da água por evaporação, como a inundação, os sulcos rasos, o pivô central e a aspersão. Deve-se considerar que, a produtividade de uma determinada cultura é aumentada com o método da irrigação, reduzindo assim a necessidade de expansão de fronteiras agrícolas.

Com os conflitos de interesse pelo uso das águas superficiais ou subterrâneas, e sua cobrança, a utilização de água residuárias na agricultura em condições favoráveis, proximidade com as estações de tratamento de esgoto e viabilidade sanitária, torna-se uma possibilidade bastante atraente. Outro benefício concreto de tal prática corresponde a possível redução nos gastos com fertilizantes, particularmente os nitrogenados (NOGUEIRA, 2008).

Apesar do reuso planejado ser amplamente difundido, no Brasil, mesmo com a escassez dos recursos hídricos em algumas regiões, esta prática não tem sido utilizada intensivamente. Existem poucos registros de reuso planejado para a agricultura, sabe-se que existe o uso indiscriminado de águas de má qualidade para a irrigação de produtos agrícolas (MAROUELLI e SILVA, 1998). Apesar do risco de transmissão de doenças, as águas contaminadas por efluentes municipais não tratados vêm sendo utilizadas indiscriminadamente no setor de irrigação de agriculturas, sem que haja fiscalização alguma dos órgãos competentes.

Segundo (BASTOS e MARA, 1993), a falta de sistema de tratamento de esgotos na maioria dos municípios das cidades brasileiras e a falta de mananciais de boa qualidade, favorecem a prática do uso indiscriminado de águas residuárias. Aliado a estes fatos, a falta de regulamentações e/ou recomendações para o reúso agrícola, a falta de suporte técnico e a falta de controle dos órgãos públicos competentes compromete ainda mais esta situação.

No Estado de São Paulo, a prática de uso planejado de efluente tratado voltado para diversas atividades, vem se difundindo principalmente para as áreas industriais, irrigação de culturas agrícolas e de parques temáticos.

Para o reaproveitamento de águas residuárias na agricultura é necessário que o seu tratamento seja comprovadamente eficaz, através de técnicas de tratamento que sejam práticas, econômicas e recomendadas ao meio rural.

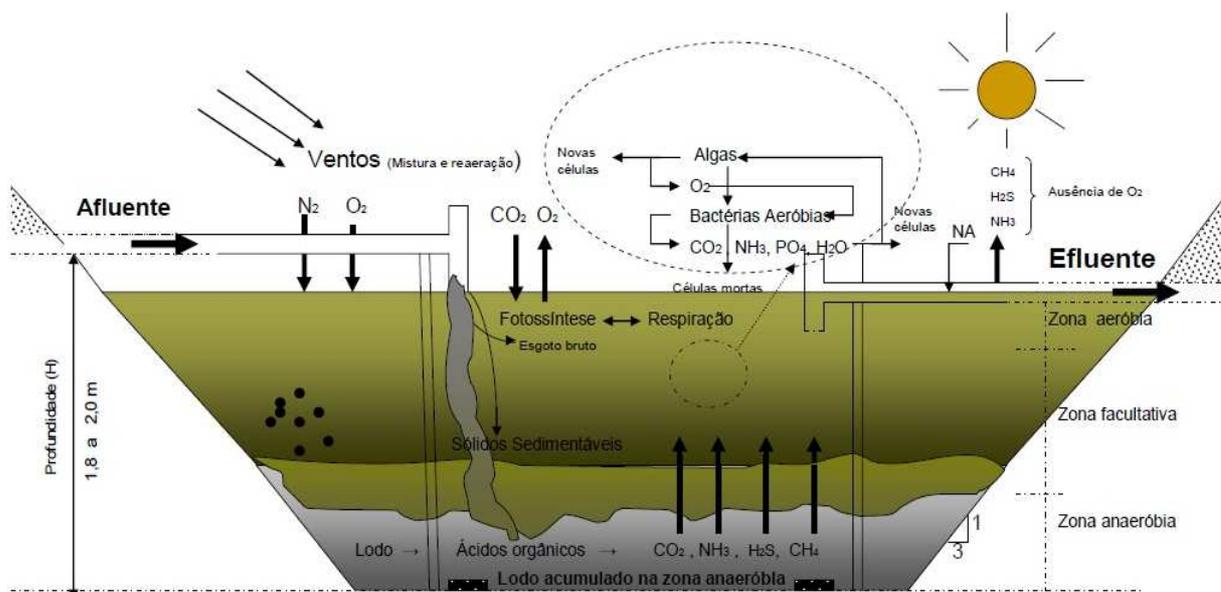
### **3.3. Lagoas Facultativas**

As lagoas facultativas são conhecidas por possuírem elevada eficiência para remoção dos principais parâmetros conforme apresentado na Tabela 1. Elas também são conhecidas por funcionarem sob a atuação de dois principais mecanismos naturais. Em um deles a energia luminosa promovida pelos raios solares alimenta fotossinteticamente a camada superior da lagoa, propiciando principalmente o desenvolvimento das algas as quais liberam oxigênio molecular, elevando sua concentração na lagoa, criando condições para diversos outros organismos mais complexos se alimentarem da matéria orgânica dissolvida ou disponível em meio líquido (VIEIRA, 2003). O outro mecanismo é o anaeróbio, processo originado pela ausência de oxigênio, ocorrendo principalmente nas zonas mais profundas da lagoa, devido à ausência de luz solar que promova a liberação de oxigênio pelos organismos fotossintetizantes. O processo anaeróbio é complexo não somente por envolver o ciclo do carbono, mas também por envolver microrganismos que tem a capacidade de transformar substâncias orgânicas e compostos inorgânicos em biomassa bacteriana tendo como subprodutos a mineralização do efluente principalmente através de compostos voláteis:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2$  e  $\text{CH}_4$  (ANDRADE NETO, 2004).

Na zona intermediária é estabelecido um ambiente de transição com bactérias facultativas capazes de realizar o mecanismo de respiração desde o meio aeróbio até o anaeróbio (KELLNER e PIRES, 1998). Todas essas características faz da lagoa facultativa um ambiente propício para o desenvolvimento de qualquer tipo de organismo, sendo eles anaeróbios restritos encontrados no lodo de fundo, e aeróbios restritos encontrados próximos à lâmina superficial da lagoa (GRAU, 1991).

As lagoas são chamadas de primárias quando projetadas para trabalhar sozinhas, operando com uma única unidade, ou seja, recebem diretamente o esgoto bruto. Quando projetada para operar depois de uma lagoa anaeróbia, recebendo efluente tratado por esse sistema, recebe o nome de secundária.

Um das principais características de identificação de uma lagoa facultativa é cor verde predominante de suas águas, isso ocorre devido a constante proliferação de algas devido à presença de oxigênio dissolvido (JORDÃO e PESSOA, 2005). A Figura 4 apresenta o desenho esquemático de uma lagoa facultativa.



**Figura 4** - Desenho esquemático de uma lagoa facultativa

Fonte: (SILVA FILHO, 2007, p. 32)

**Tabela 1** - Eficiência das lagoas facultativas primárias

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

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2006)

### 3.4. Eucalipto

O eucalipto é uma árvore nativa da Austrália, do Timor e da Indonésia, sendo exótico em todas as outras partes do mundo. Os primeiros plantios datam do início do século XVIII, na Europa, na Ásia e na África. Já no século XIX, começou a ser plantado em países como Espanha, Índia, Brasil, Argentina e Portugal (PRYOR, 1976; FAO, 1981).

O eucalipto cujo nome científico, "eucalyptus", é derivado das palavras gregas "eu", que significa "bem", e "kalyptus", que quer dizer "cubro", em alusão ao crescimento rápido que se sobre sai em relação às outras espécies (COZZO, 1955). O número total de espécies é vasto, no entanto os valores apresentados na literatura são constantemente atualizados devido ao surgimento de novas espécies originadas pelos cruzamentos híbridos. De acordo com (ANDADRE, 1961) existem 600 classes de taxonômicas divididas em 7 subgêneros. Segundo (OLIVEIRA, 2001) o gênero engloba cerca de 720 espécies e subespécies.

Segundo (ELDRIDGE et al., 1994) o cultivo do eucalipto normalmente é feito em regiões situadas entre as latitudes 45° S e 40° N, já a produção do gênero tem grande valor nos trópicos e subtropicais, apresentando maior importância nas latitudes médias e baixas.

Várias espécies de eucaliptos podem se desenvolver em locais de baixa fertilidade, até mesmo naquelas com deficiência de nitrogênio e fósforo. Entretanto o real desempenho das plantas se resulta da interação de fatores genéticos, climáticos, edáficos, físicos e biológicos (FAO, 1989).

Segundo relatos de (STAPE et al., 2004), o cultivo do eucalipto em e regiões tropicais pode ser restringido em função das condições edáficas (como fertilidade do solo), climáticas (como seca) ou por competição com outras plantas, (como por exemplo plantas daninhas).

O eucalipto é considerado uma boa alternativa de plantio, pois alivia a pressão sobre os desmatamentos de florestas nativas. Sua utilização como fonte de lenha e carvão, postes e mourões, polpa de celulose e painéis de madeira são provenientes de árvores jovens, já a árvore quando chega ao estágio adulto fornece madeira maciça para construção civil, fabricação de móveis e demais utilidades. Algumas espécies apresentam elevado potencial para o fornecimento de óleos

voláteis, mel e ornamentação. Para a indústria o eucalipto tem seu corte por volta dos 7 anos de idades, podendo haver o rebrotamento por até 3 vezes consecutivas (TEIXEIRA, 2002).

Países com pouca disponibilidade hídrica utilizam áreas específicas para o plantio de eucalipto, como é o caso da Espanha, Itália, Israel e Marrocos (GOLFARI, 1975). Israel que detém uma experiência de cultivo de 20 a 30 anos se beneficia do aporte de matéria orgânica incorporada no solo pela cultura de eucalipto (KAPLAN, 1983).

A área plantada de eucalipto no mundo no início da década de 1990 eram aproximados 6 milhões de hectares de reflorestamento de eucalipto, com metade da área plantada localizada no Brasil. No ano de 1998 a participação nacional sofreu um redução de 21%, devido a intensificação do plantio em países asiáticos como Índia (35%), e a China (5%) e na Oceania a Austrália (2%), (MORA; GARCIA, 2000). Em 2000 (OLIVEIRA, 2001) divulgou que a área total aos 9 milhões de hectares

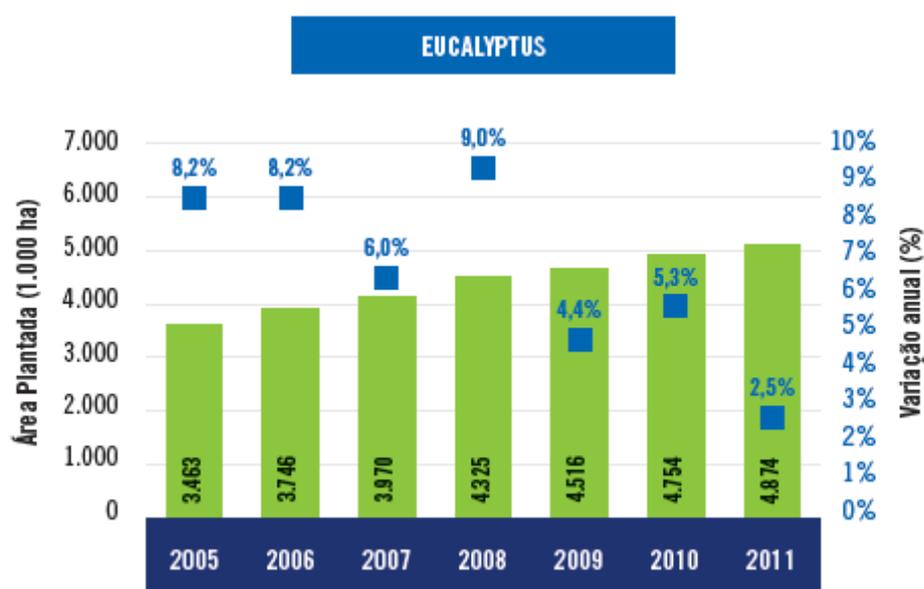
Tabela 2.

**Tabela 2** - Área plantada com eucalipto no mundo, em 2000

País	Área	
	(ha)	%
<i><b>Brasil</b></i>	2.967.000	33,58
<i><b>Índia</b></i>	2.670.000	30,22
<i><b>África do Sul</b></i>	557.000	6,30
<i><b>Portugal</b></i>	550.000	6,23
<i><b>Espanha</b></i>	550.000	6,23
<i><b>Chile</b></i>	350.000	3,96
<i><b>Austrália</b></i>	297.000	3,36
<i><b>China</b></i>	274.000	3,10
<i><b>Argentina</b></i>	242.000	2,74
<i><b>Vietnã</b></i>	202.000	2,29
<i><b>Uruguai</b></i>	176.000	1,99
<b>TOTAL</b>	<b>8.835.000</b>	<b>100</b>

Fonte: Adaptado (OLIVEIRA, 2001).

A área plantada de eucalipto no Brasil cresce ano após ano, em 2011 totalizou 4.873.952 ha com um crescimento de (2,5%), 119.617 ha (Figura 5), quando comparado em 2010. Ao longo dos ultimo seis anos o crescimento da área plantada foi expressivo devido principalmente as demandas futuras de nos projetos industriais do segmento de Papel e Celulose (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF, 2012).



**Figura 5** - Histórico da área de plantio florestal no Brasil, 2005-2011.

Fonte: ABRAF - Anuário Estatístico, 2012, p. 24

### 3.5. Ecotoxicologia

A necessidade de estudos mais abrangentes com ênfase em respostas obtidas diretamente de organismos, conjugado com as tradicionais análises químicas, levou ao desenvolvimento de uma ciência chamada Ecotoxicologia. Ciência esta que estuda os contaminantes e seus efeitos sobre os elementos da biosfera, avaliando os contaminantes, isolados ou somados a outros compostos (RUBINGER, 2009).

A Ecotoxicologia é uma ciência relativamente nova quando comparada a outras ciências mais tradicionais, ela foi reconhecida mundialmente a partir da década de 1960. O criador do termo “Ecotoxicologia” foi o Dr. Rene Truhaut, membro da Academia de Ciências da França que em 1969 definiu a ecotoxicologia como sendo; “o estudo dos efeitos adversos de substâncias químicas com o objetivo de proteger espécies naturais e populações” (TRUHAUT, 1977).

De acordo com (BERTOLETTI, 1990), a Ecotoxicologia é o estudo do comportamento e das transformações de agentes químicos no ambiente, assim como seus efeitos e respostas sobre a biota. É uma ciência multidisciplinar que engloba várias áreas de estudo, tais como biologia, química (orgânica, analítica e bioquímica), anatomia, genética, fisiologia, microbiologia, ecologia, ciências dos solos, das águas e atmosféricas, epidemiologia, estatística e direito (RUBINGER, 2009).

Segundo (ZAGATTO, 2006), a ecotoxicologia implica em uma visão mais ampla do que a simples avaliação de efeitos das substâncias sobre os organismos. A toxicidade ou ecotoxicidade pode não ser o resultado da ação de apenas uma substância isolada, mas da interação e magnitude de vários agentes presentes num determinado ambiente. Assim, a avaliação dos efeitos em um determinado ambiente passa pelo conhecimento das fontes de emissão dos poluentes, bem como de suas transformações, difusões e destinos no ambiente.

### **3.6. Toxicidade**

A toxicidade é a propriedade que uma substância têm de causar um efeito significativo a um organismo vivo. Sua ação depende diretamente da concentração do agente químico, de suas características, assim como, qual organismo esta sendo exposto e por qual período (RAND, 1995).

Os testes de toxicidade aquática são utilizados para medir o efeito potencialmente toxico de substâncias químicas e de águas contaminadas. Os testes de substâncias específicas tem o objetivo de coletar informações para registros dos elementos e compostos químicos envolvidos, já os testes com águas contaminadas servem para serem comparados com os valores padrões permitidos.

### 3.7. Ensaios Ecotoxicológicos

As análises ecotoxicológicas são ensaios específicos e controlados, que tem por função estimar a toxicidade de substâncias, efluentes industriais e amostras ambientais. Sejam essas amostras, de águas continentais, estuarinas, marinhas, sedimentos, solos e até mesmo amostras atmosféricas (PEREIRA et al., 2004).

É recomendado que os ensaios ecotoxicológicos sejam realizados por mais de uma espécie da biota aquática, e que preferencialmente esses organismos estejam em diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar, (RIBO, 1997) (GHERARDI-GOLDSTEIN, 1990).

A utilização de diferentes espécies de organismos para avaliação da toxicidade conforme pode ser observado no Figura 6, e recomendado devido as diferenças de sensibilidade encontradas nas diferentes espécies quando expostas as substâncias químicas.



**Figura 6** - Exemplo de cadeia alimentar do ecossistema aquático com organismos e diferentes níveis tróficos (NT).

Fonte: Adaptado de Costa Et Al., 2008.

Com o intuito de se adquirir experiência sobre a toxicidade e avaliar os efeitos dos agentes químicos sobre a biota aquática, tem se realizado principalmente nesta última década, ensaios de toxicidade com organismos de águas continentais, estuarinas e marinhas, em condições laboratoriais e/ou em campo. Esses estudos vêm possibilitando estabelecer concentrações permissíveis de várias substâncias químicas e monitorar o impacto dos contaminantes sobre os organismos aquáticos dos corpos receptores, há uma gama de ensaios ecotoxicológicos já difundidos, sendo que muitos deles com padronização nacional e internacional por órgãos competentes. A padronização apresenta vantagens em relação as demais, como por exemplo, permitir que resultados gerados em diferentes laboratórios possam ser comparados em programas de ensaios interlaboratoriais (CETESB, 2010).

Os ensaios ecotoxicológicos tem como prioridade o desenvolvimento de protocolos de testes de toxicidade que identifiquem faixas aceitáveis de concentrações de contaminantes com níveis de incerteza aceitáveis e que sirvam como indicadores para entidades reguladoras e diversos Órgãos de Proteção Ambiental, como; *Environment Canada* e *Environmental Protection Agency* dos Estados Unidos (U.S. EPA), e de padronização, como *American Society for Testing and Materials* (ASTM), *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD), *Association of Analytical Communities* (AOAC) e *International Organization for Standardization* (ISO). No Brasil o Órgão responsável pela elaboração de protocolos de testes de toxicidade é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) também tem testes padronizados para avaliação e monitoramento da toxicidade. Contudo a utilização de mais de um teste padronizado é importante, pois, garante uma maior uniformidade dos resultados gerados nos ensaios.

Os testes de toxicidade podem ser classificados em agudos e crônicos. Eles diferem pelo período de exposição que os organismos são expostos a cada amostra e também em muitos casos por serem organismos de diferentes espécies dentro de um mesmo gênero.

Os testes de toxicidade aguda podem ser expressos por valores de CE50 e CL50 Tabela 3, determinados por softwares estatísticos computacionais. Os efeitos de toxicidade aguda podem ser originados em amostras aquáticas devido ao

lançamento de defensivos agrícolas, de acidentes ambientais e afluentes industriais não tratados lançados no corpo hídrico (RONCO, 2004), (GHERARDI-GOLDSTEIN, 1990), (APHA/AWWA/WEF, 1998).

**Tabela 3** - Definições de alguns termos utilizados em testes de toxicidade

Ensaio Recomendados	Parâmetro	Definição	Tempo de Exposição
Agudo	DL50	Dose Letal Média: dose de amostra que causa mortalidade de 50% dos organismos no tempo de exposição e condições do teste.	24 a 96 horas
Agudo	CL50	Concentração Letal Média: concentração de amostra que causa mortalidade de 50% dos organismos no tempo de exposição e nas condições do teste	24 a 96 horas
Agudo Crônico	CE50	Concentração Efetiva Média: concentração de que causa um efeito agudo (imobilidade, por exemplo) a 50% dos organismos no tempo de exposição e nas condições do teste.	24 a 48 horas
Crônico	CENO	Concentração de Efeito não Observado: maior concentração de agente tóxico que não causa efeito deletério estatisticamente significativo nos organismos no tempo de exposição e nas condições do teste.	7 dias
Crônico	CEO	Concentração de Efeito Observado: menor concentração de agente tóxico que causa efeito deletério estatisticamente significativo nos organismo no tempo de exposição e nas condições do teste.	7 dias

Fonte: Adaptado COSTA et al., 2008

Os testes de toxicidade crônica podem ser expressos como CENO ou CEO Tabela 3, mas também podem ser expressos em CE50, pois para o ensaio crônico o período de exposição dos organismos tende a ser mais duradouros, podendo abranger todo ciclo de vida do organismo-teste ou parcialmente. A toxicidade crônica

pode ter como origem os efluentes tratados nos corpos d'água, uma vez que mesmo tratado esse efluente pode conter certos contaminantes mesmo e baixas concentrações, durante longos períodos de exposição (APHA/AWWA/WEF, 1998), (COSTA et al., 2008).

Os valores numéricos de toxicidade aguda e crônica, são expressos como CL50, CE50, CENO e CEO, apresentando uma relação inversa à toxicidade, ou seja, menores valores numéricos indicam maiores toxicidades. E para facilitar o entendimento esses valores podem ser transformados em unidades de toxicidade exprimindo uma relação direta com a toxicidade, podendo ser transformados em unidades toxicas agudas ( $UT_a$ ) ou crônicas ( $UT_c$ ) representadas pelas seguintes eq. (1) e (2): (COSTA et al., 2008).

$$(UT_a) = 100/CE50 \text{ ou } (UT_a) = 100/CL50 \quad (1)$$

$$(UT_c) = 100/CENO \text{ ou } (UT_c) = 100/CEO \quad (2)$$

### **3.8. Teste de Toxicidade Aguda com *Daphnia similis***

Os microcrustáceos, geralmente desempenham uma função importante na cadeia alimentar, pois se alimentam de algas e servem de alimentos para consumidores secundários, como peixes e outros vertebrados. Assim, quando as populações desses organismos são afetadas por algum motivo, poderão ocorrer mudanças na cadeia alimentar, principalmente em outros níveis tróficos do ecossistema aquático.

Organismos do gênero *Daphnia*, vulgarmente conhecidos como pulgas d'água, são muito utilizados em testes de toxicidade devido a seu povoamento nos corpos de água doce. São facilmente cultivados em laboratório devido ao seu pequeno tamanho, necessitando de pequenos volumes de água de diluição quando comparados com organismos como algas e peixes. Além disso, a reprodução assexuada desses crustáceos por paternogênese garante a produção de organismos geneticamente idênticos, possibilitando, assim, a obtenção de organismos-testes com sensibilidade constante. (TATARAZAKO, 2003), (BURATINI, 2004).

Estes ensaios têm sido utilizados para avaliar a toxicidade de substâncias químicas presentes em ambientes aquáticos e no controle da toxicidade de efluentes líquidos. Na França, por exemplo, o resultado dos ensaios com efluentes industriais é utilizado conjuntamente com outros ensaios físico-químicos, para a aplicação da cobrança de impostos a quem polui mais. Nos Estados Unidos, os resultados correlacionados com espécies sensíveis, são avaliados e calculados para o correto lançamento de acordo com a vazão do rio e o volume de descarte do efluente (USEPA, 1985).

### **3.9. Teste de Toxicidade Aguda com *Vibrio fischeri***

O teste de toxicidade com a bactéria *Vibrio fischeri* geralmente é realizado no equipamento Microtox® o que comumente nomeia este ensaio em vários artigos e outros trabalhos. O sistema analisador de toxicidade Microtox® se baseia na quantificação das variações da emissão de luz emitidas, por unidade de tempo das bactérias.

A espécie é utilizada desde 1979, quando Bulish desenvolveu a técnica, e a Beckman Instrumentos Inc patenteou e comercializou o Sistema Microtox® em 1982, hoje representado pela SDIX. O aparelho consiste em um fotômetro de precisão, que detecta a luminescência emitida pela foto bactéria na presença e na ausência da substância tóxica, é acompanhado de culturas liofilizadas da bactéria, das cubetas especiais para leitura e também com os reagentes de reativação e diluição necessários ao ensaio.

Bioquimicamente, a bioluminescência é uma etapa da cadeia de transporte de elétrons. Nestas bactérias, a emissão de luz é o resultado do processo total da célula, ou seja, é a expressão da taxa total em que uma série complexa de reações bioquímicas com produção de energia luminosa originada das atividades metabólicas do organismo. (IBAMA, 1997).

A inibição de qualquer uma das enzimas envolvidas neste processo causa uma diminuição do metabolismo do organismo, com conseqüente diminuição na quantidade de luz emitida.

O ensaio utiliza uma cultura liofilizada, ou congelada e desidratada da bactéria *Vibrio fischeri*, contendo  $10^8$  células das bactérias por ampola. Para

realização do teste, esta suspensão é diluídas a uma concentração de  $10^6$  células de bactéria, para posteriormente receber a amostra potencialmente tóxica.

São efetuadas medidas da quantidade de luz emitida por essas suspensões bacterianas antes e após a mistura com a amostra, em intervalos de tempo específicos que podem variar entre 5, 15 e 30 minutos de acordo com o método escolhido.

Quando a razão entre a quantidade de luz perdida e a quantidade de luz remanescente é registrada (efeito gama), esse valores são posteriormente inseridos ao software do aparelho para obtenção do resultado da toxicidade em CE50, ou seja, é a concentração efetiva da amostra que inibi 50% dos organismos, após um períodos de exposição previamente determinado.

A aplicação do ensaio de toxicidade com o equipamento Microtox®, tem sido comprovado pela sua inclusão na 19a. Edição do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, de 1995. Assim como em vários outros trabalhos acadêmicos.

A comparação direta dos resultados de avaliação de toxicidade entre as espécies tende a serem minimizados quando se trabalha com valores relativos, assim (BULICH, 1992) descreveu um método, onde foram estabelecidas faixas de toxicidade conforme apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** - Classificação das Faixas de Toxicidade segundo (BULICH, 1992).

Grau de Toxicidade	
EC – 50 (% , v/v)	Classificação
<25	Muito tóxica
25 – 50	Tóxica
51 – 75	Moderadamente tóxica
>75	Levemente Tóxica

Fonte: Adaptado de (BULICH, 1992)

### 3.10. Normas e Legislações Sobre os Testes Ecotoxicológicos

No Estado de São Paulo, a CETESB vem utilizando o parâmetro toxicidade no controle de efluentes líquidos desde 1990 (CETESB, 1990) e no monitoramento da qualidade de águas superficiais do Estado de São Paulo desde 1992 (CETESB, 2004). A aplicação de ensaios ecotoxicológicos estabelecidos nos critérios para lançamento de efluentes líquidos passou a ser previsto pela resolução SMA-03 de Fevereiro de 2000 e pela Resolução CONAMA nº 357 de Março de 2005, a qual foi alterada e complementada pela nova Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, deixando valores e ensaios mais restritivos ao lançamento de efluentes com potenciais efeitos tóxicos nos corpos d'água (CONAMA nº 430, 2011).

### 3.11. Efeito dos Compostos Alelopáticos

Além de tudo o que já se conhece sobre o eucalipto esta espécie cheia de propriedades e utilidades, trás em sua fisiologia a produção e liberação de substâncias que podem inibir o crescimento de outras espécies de plantas e até mesmo interferir sobre o desenvolvimento de micro-organismos do solo. Esse efeito conhecido como alelopatia é uma das críticas contra o eucalipto, pois a longo prazo a cultura do eucalipto pode criar no solo condições desfavoráveis competindo com ampla vantagens em relação a outras espécies (LIMA, 1987).

O termo alelopatia foi criado por Molish, em seu trabalho *Der Einfluss einer Pflanze auf die andere - Allelopathie* (A influência de uma planta sobre outra - Alelopatia). A alelopatia refere aos efeitos benéficos ou inibitórios das atividades de outros organismo, tudo depende do composto liberado pela espécie doadora (ENCICLOPÉDIA AGRÍCOLA BRASILEIRA, 1995).

Segundo (RIZVI & RIZVI, 1992), os compostos aleloquímicos podem afetar as estruturas das células até mesmo as ultraestruturas, como hormônios, alterando tanto suas concentrações quanto a distribuição entre os diferentes hormônios, também pode afetar a permeabilidade das membranas, absorção de nutrientes, funcionamento dos estômatos, síntese de proteínas, atividade enzimática, relações hídricas e condução, materiais genéticos, induzindo alterações no DNA e RNA.

Os efeitos alelopáticos raramente são provocados por um único composto

separadamente, mas sim pela combinação de outras substâncias somadas às características ambientais locais. Por isso que em condições naturais, a alelopatia pode ser confundida com a competição por água, nutrientes e luz. Entretanto, há exemplos claros que alelopatia e a competição são fenômenos distintos na natureza, embora possam estar bastante inter-relacionados (RIZVI & RIZVI, 1992).

Entretanto, embora se possa demonstrar o efeito fito tóxico de extratos de folhas ou de outras partes da planta, uma questão importante consiste no papel que tal fenômeno pode desempenhar na ecologia. Segundo (FLORENCE, 1986) que apresentou em sua tese de doutorado na Universidade de Melbourne, Austrália, uma completa revisão da literatura sobre o assunto, concluindo ser rara uma interação química direta em comunidades naturais. Todavia o autor descreve que podem ocorrer alterações em algumas espécies, como resultado da complexidade bioquímica gerada por uma planta, a qual afeta os micro-organismos do solo.

De qualquer modo, a absorção de substâncias inibidoras pode desempenhar uma ação crítica, tanto na ocorrência quanto na intensidade do fenômeno, podendo se manifestar de diferentes formas para cada tipo de solo, da mesma maneira que os efeitos podem se apresentar radicalmente diferentes para cada condição edáfica.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Localização do Experimento

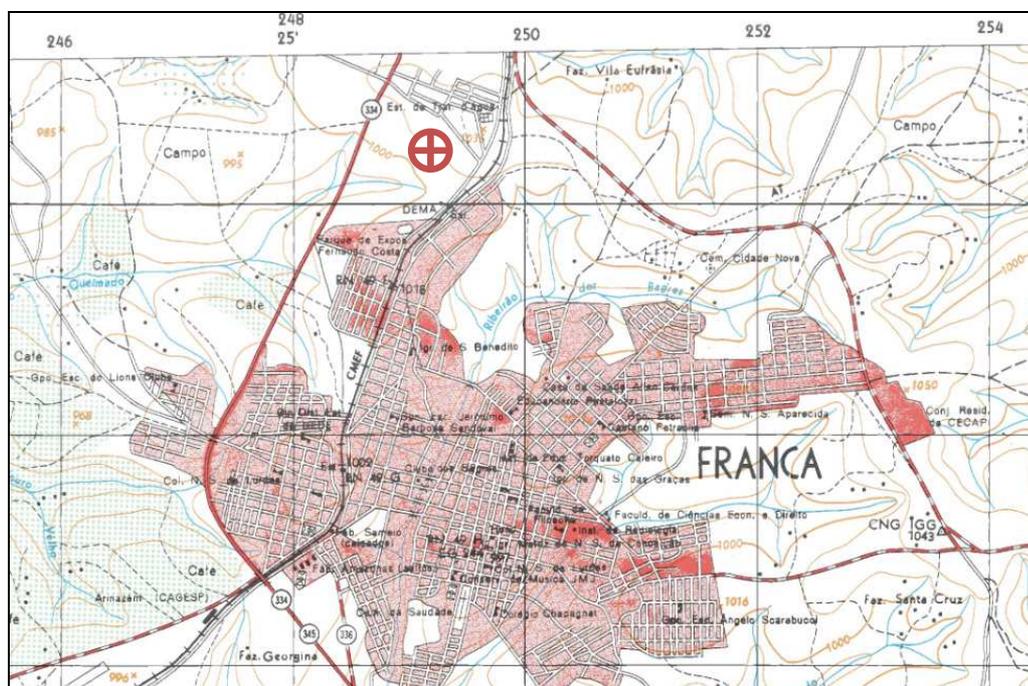
A área experimental escolhida para estudo do reuso e a aplicação de efluente em cultura de eucalipto, foi o Colégio Agrícola Centro Paula Souza - Escola Técnica Estadual “Prof. Carmelino Corrêa Júnior”, no município de Franca interior do estado de São Paulo, localizado na coordenada geográfica (Datum WGS 1984): latitude 20°28'00.2" S e longitude 47°23'52.2" W, a 305 km da Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, conforme Figura 4.1.



**Figura 4.1** – Localização da área experimental.

Fonte: Google, acessado em junho de 2012.

A área experimental está localizada na Bacia Hidrográfica do Sapucaí/Grande Figura 8, segundo divisão de bacia do Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, sua Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos é a de nº 8.



**Figura 4.2** - Apresenta a localização da área, escala 1:50.000.

Fonte: cartografia oficial o IBGE.

#### 4.2. Instalação da Pesquisa

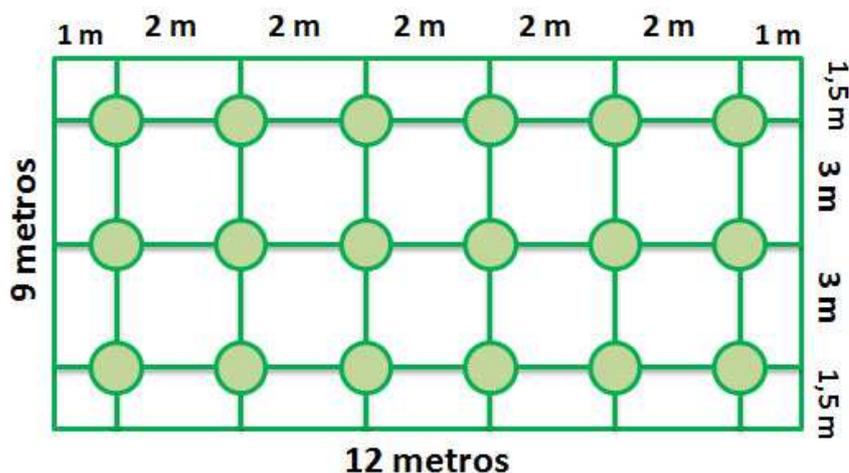
A avaliação da toxicidade desta pesquisa inicialmente foi realizada por (RAMIREZ, 2009) nos anos de 2007 a 2009 resultando na dissertação de mestrado "USO DE EFLUENTE DE LAGOA ANAERÓBIA EM CULTURA DE EUCALIPTOS: AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DA ÁGUA PERCOLADA E DA PRODUTIVIDADE E DA PRODUÇÃO DA CULTURA" defendida em 2009.

Após este período foi dada continuidade na coleta dos dados de alguns dos parâmetros inicialmente avaliados. No entanto com o intuito de agregar novas informações ao projeto outros parâmetros foram abordados para este estudo, elencando novas hipóteses no âmbito da pesquisa.

### 4.3. Delineamento Experimental

A área é composta por topografia plana com suaves morros, ondulados, com cotas aproximadas de 1.000 m de altitude. Figura 4.2.

O solo foi classificação como Neossolo Quartzarenico. O solo da área de plantio do eucalipto recebeu uma sulcação orientada por levantamento topográfico e, em seguida, foram demarcados os espaçamento de 3,0 m entre as linhas e, 2,0 m entre as plantas, formando parcelas com um total de 18 plantas cada, como pode ser observado na Figura 4.3.



**Figura 4.3** – Representação esquemática de uma parcela.

O planejamento experimental definido para a área total de 3900 m<sup>2</sup> subdividido em 8 tratamentos (T<sub>n</sub>) e quatro repetições por tratamento, tendo cada parcela 108 m<sup>2</sup> e demarcadas na direção das linhas de plantio, 12,0 m de comprimento, ou seja, 6 plantas por linha espaçadas entre elas por 2,0 m de distância. A composição de cada tratamento estudado pode ser observado na Tabela 4.1 e a disposição das parcelas e suas replicas podem ser observadas na Figura 4.4.

**Tabela 4.1** - Composição de Cada Tratamento Estudado.

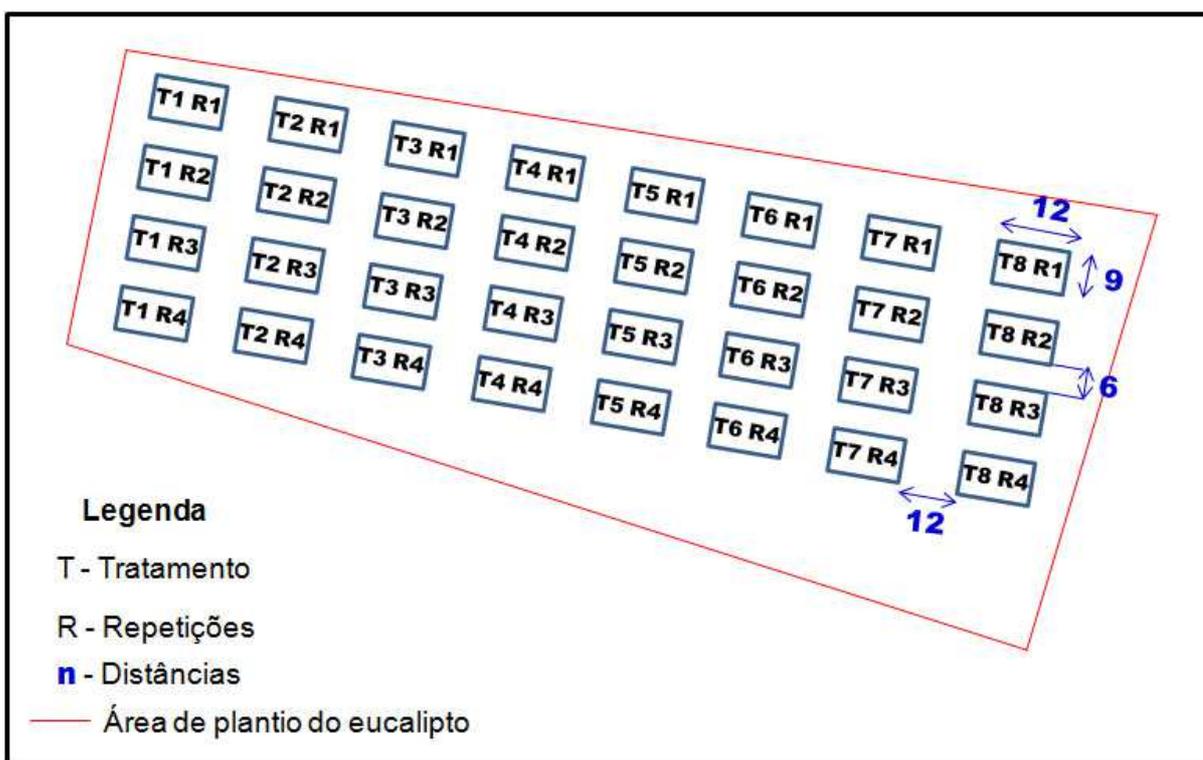
<b>COMPOSIÇÃO</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>
Água	X	X						
Efluente			1/3 dose*	1/2 dose*	X	X	1,5x dose*	
NPK		X	X	X	X		X	
Zn		X	X	X	X		X	
B		X	X	X	X		X	

**dose\*** Volume de efluente aplicado em relação ao recomendado para a cultura do eucalipto

(Fonte: Base Pesquisa, 2011)

Descrição da composição dos tratamentos estudados:

- (T1) irrigação com água Limpa sem adubação;
- (T2) irrigação com água Limpa + NPK + B + Zn;
- (T3) irrigação com 1/3 de efluente + NPK + B + Zn;
- (T4) irrigação com 1/2 de efluente + NPK + B + Zn;
- (T5) irrigação com efluente + NPK + B + Zn;
- (T6) irrigação com efluente sem adubação;
- (T7) irrigação com 1,5 de efluente + NPK + B + Zn;
- (T8) sem irrigação e adubação.



**Figura 4.4** - Distribuição das parcelas e os respectivos tratamentos.

Fonte: o autor, 2012.

Na implantação da área experimental foi realizado o plantio com mudas da espécie (*Eucalyptus urograndis*), clone das espécies (*E. grandis* e *E. urophylla*), cedidas pela empresa VCP-Florestal, atualmente conhecida como Fíbria após fusão da VCP-Florestal com outras duas empresas a Votorantim Celulose e a Aracruz Celulose. A área recebeu aplicação de herbicida adubação de acordo com a análise química da área, 200 kg ha<sup>-1</sup> de 6:30:6 NPK, seguindo recomendação para adubação da cultura de eucalipto.

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 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).

#### 4.4. Avaliação dos Poços de Monitoramento da Água Subterrânea

Durante a implantação do projeto foram instalados 8 poços de monitoramento do lençol freático. Os poços foram instalados em setembro de 2007, mês do ano em que comumente se registra uma menor precipitação, e com isso foram instalados o poços de monitoramento com o lençol subterrâneo atingindo o menor nível de água. Todos os poços foram instalados a jusante das linhas de fluxo Figura 4.5.

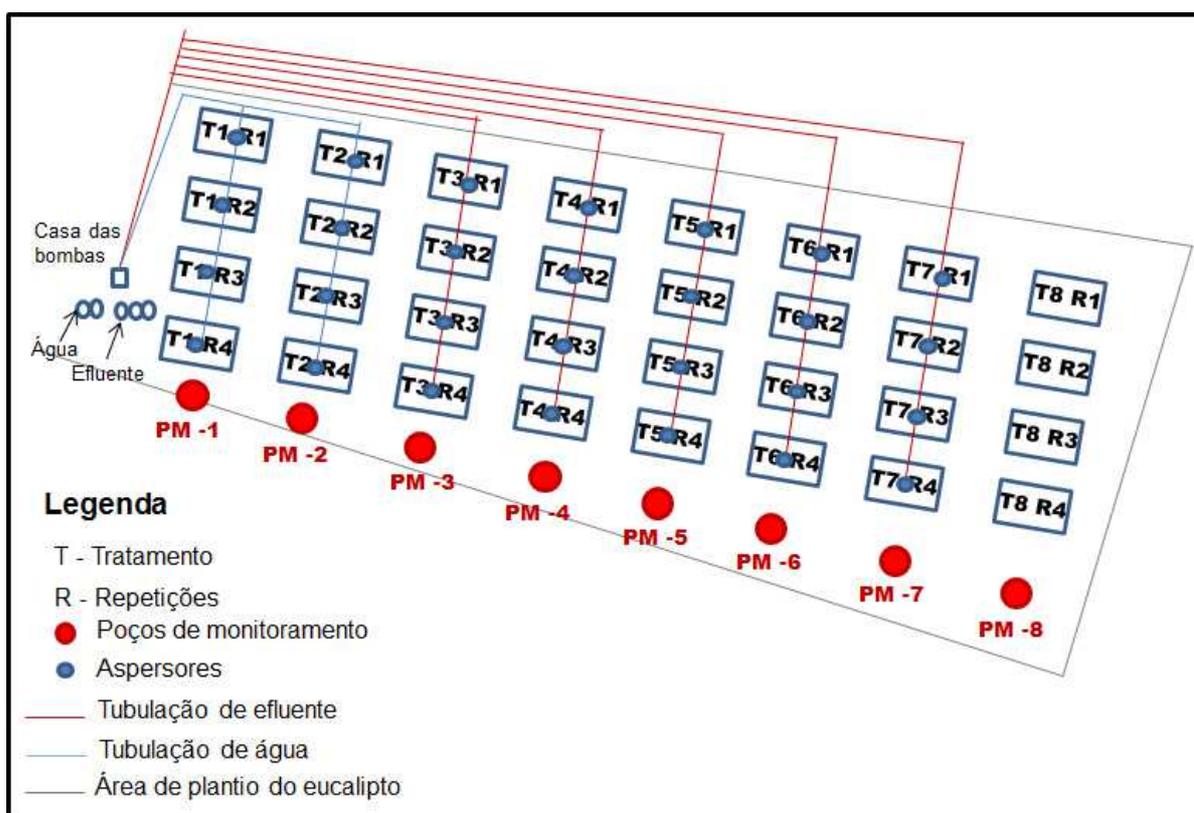


**Figura 4.5** - Poço de monitoramento de água subterrânea instalado a jusante da área experimental

Fonte: Base Pesquisa (2011)

A montante da área de plantio do eucalipto foram realizadas tentativas de perfuração dos poços para cada tratamento, mas devido a característica arenosa do solo e a baixa umidade, ocorreu o desmoronamento dos mesmos.

E devido a problemas técnicos foi decidido pelo monitoramento de apenas os oito pontos a jusante da área Figura 4.6, pois a construção dos poços a montante através de outra tecnologia poderia contaminar o lençol freático e comprometer os resultados a serem obtidos.



**Figura 4.6** - Poço de monitoramento de água subterrânea instalado a jusante da área experimental

Fonte: Base Pesquisa (2011).

#### 4.5. Caracterização e Capacidade de Retenção de Água do Solo

O solo da área do experimento foi classificado, em função das análises físicas e químicas da área do experimento como Neossolo Quartzarênico, conforme a classificação da EMBRAPA (2006).

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 de solo nas profundidades 0,00 – 0,20; 0,20 – 0,40; 0,40 – 0,60 e 0,60 – 0,80m, 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. 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.

#### 4.6. Sistema de Irrigação

Foi implantado um sistema de irrigação por aspersão, utilizando aspersores do tipo sub-copa de baixa pressão e diâmetro interno acentuado, tipo pingo setorial apresentado na Figura 4.7.



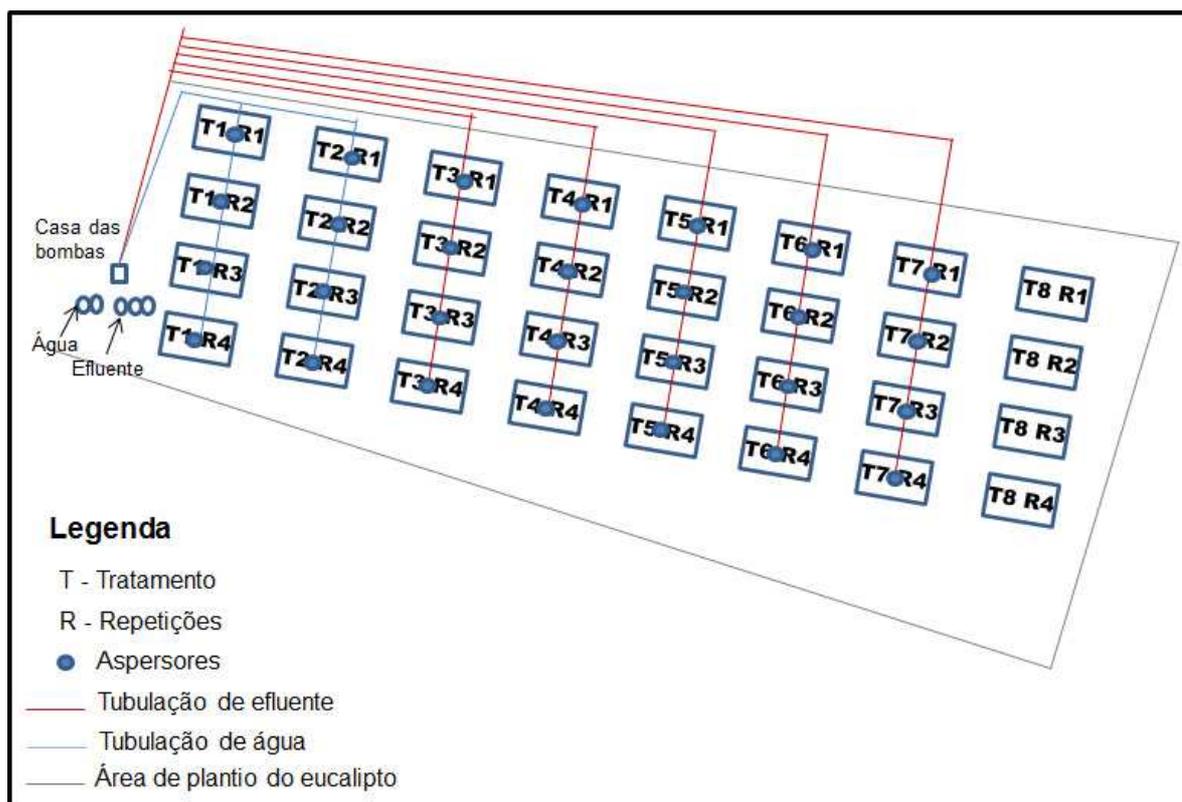
**Figura 4.7** – Aspersores utilizado na pesquisa.

Fonte: Base Pesquisa, 2011.

Foram utilizadas tubulações, conexões e registros à base de PVC e outros materiais não metálicos no sistema de irrigação. A água da represa e o efluente da ETE City Petrópolis foram drenados por gravidade até os respectivos reservatórios implantados na pesquisa, sendo dois depósitos de 3.000 litros cada um, ligados entre si para armazenamento da água da represa. E para o armazenamento de efluente foram instalados três depósitos de 2.000 litros cada, interligados Figura 4.9.

A partir dos reservatórios, os líquidos foram 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.

O sistema, como pode ser observado na Figura 4.8, foi implantado utilizando 1 aspersor por parcela, conectados por tubos de polietileno de 20mm de diâmetro, os quais derivam da rede secundária, exceto o tratamento 8, pois o mesmo não é irrigado (recebeu irrigação apenas no primeiro estágio do projeto, nos primeiros dias após o transplante das mudas para o campo).



**Figura 4.8** - Croqui do sistema de irrigação implantado na área experimental.

Fonte: o autor 2012.

O sistema de acionamento das bombas foi projetado para ser operado manualmente. Com o intuito de proteger o sistema de recalque nas tomadas de água e efluente, as bombas foram protegidas pela instalação de 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 4.9** - Reservatórios de água e efluente implantados na pesquisa.

Fonte: Base Pesquisa, 2011.

#### **4.7. Irrigação e Precipitação Pluviométrica**

Por meio de um pluviômetro instalado nas proximidades do campo experimental, foram realizados os registros dos índices de pluviometria dos anos de 2010 e 2011 informados na Tabela 4.2 - São apresentados os resumos das irrigações mensais nos anos de 2010 e 2011 para os tratamentos T1 ao T8 sendo irrigados com água ou efluente tratado com periodicidade de 2 a 4 dias na semana. As variações apresentadas devido a problemas ocorridos com as bombas de irrigação foram corrigidas, mantendo se assim as uniformidades na quantidade de efluente e água aplicados nos respectivos tratamentos.

**Tabela 4.2 - Resumo da pluviometria e das lâminas de irrigação.**

Meses	Pluviometria (mm)	Irrigação c/ água (mm)		Irrigação c/ efluente (mm)				
		T1 - Água	T2 - Água	T3 - Esgoto	T4 - Esgoto	T5 - Esgoto	T6 - Esgoto	T7 - Esgoto
<b>Ano de 2010</b>								
Jan/10	402,2	14,0	28,0	28,0	84,0	122,5	66,5	126,0
Fev/10	191,9	*	*	9,3	14,0	21,0	84,0	42,0
Mar/10	219,4	42,0	42,0	18,7	28,0	80,5	91,0	140,0
Abr/10	18,5	168,0	154,0	55,9	98,0	119,0	133,0	196,0
Mai/10	21,1	98,0	112,0	37,2	70,0	105,0	77,0	182,0
Jun/10	10,2	112,0	140,0	37,2	84,0	122,5	157,5	196,0
Jul/10	0	56,0	70,0	18,6	56,0	21,0	91,0	42,0
Ago/10	0	126,0	126,0	*	*	*	*	*
Set/10	112,0	84,0	84,0	9,3	14,0	17,5	-	-
Out/10	192,6	28,0	56,0	18,6	14,0	35,0	28,0	28,0
Nov/10	217,4	84,0	98,0	37,2	42,0	98,0	98,0	140,0
Dez/10	195,4	42,0	70,0	27,9	56,0	56,0	70,0	70,0
<b>Subtotal</b>	<b>1.580,7</b>	<b>854,0</b>	<b>980,0</b>	<b>298,1</b>	<b>560,0</b>	<b>798,0</b>	<b>896,0</b>	<b>1.162,0</b>
<b>Ano de 2011</b>								
Jan/11	299,0	*	*	*	*	*	*	*
Fev/11	174,9	*	*	*	*	*	*	*
Mar/11	396,7	*	*	18,6	42,0	-	77,0	126,0
Abr/11	127,3	*	*	9,3	28,0	52,5	84,0	112,0
Mai/11	3,3	-	-	27,9	70,0	164,5	87,5	154,0
Jun/11	0	-	-	27,9	70,0	164,5	87,5	154,0
Jul/11	0	126,0	126,0	46,6	73,5	122,5	119,0	182,0
Ago/11	0	154,0	126,0	46,6	84,0	150,5	161,0	210,0
Set/11	44,3	168,0	133,0	74,5	98,0	210,0	182,0	266,0
Out/11	90,7	98,0	91,0	27,9	56,0	94,5	112,0	252,0
Nov/11	133,6	98,0	98,0	37,2	84,0	105,0	119,0	168,0
Dez/11	313,0	168,0	168,0	55,9	70,0	154,0	185,5	266,0
<b>Subtotal</b>	<b>1.582,8</b>	<b>812,0</b>	<b>742,0</b>	<b>372,4</b>	<b>675,5</b>	<b>1.218,0</b>	<b>1.214,5</b>	<b>1.890,0</b>
<b>Total</b>	<b>6.713,5</b>	<b>4.448,5</b>	<b>4.396,0</b>	<b>1.742,1</b>	<b>2.901,5</b>	<b>5056,5</b>	<b>5.428,5</b>	<b>7.553,0</b>

\* Não houve irrigação, pois as bombas estavam com problemas. O período era chuvoso.

#### 4.8. Tensiômetros

Os tensiômetros tiveram como função, auxiliar na determinação do correto manejo da irrigação, foram instalados nas profundidades de 0,30 m; 0,60 m e 0,90 m, entre os tratamentos e, em duas das quatro repetições.

A Figura 4.10 apresenta um tensiômetro instalado na área experimental onde os valores indicados no dispositivo após serem correlacionados com os dados de pluviometria, evaporação e evapotranspiração geraram as lâminas complementares necessárias para se atingir a correta dosagem na aplicação da água ou efluente tratado.

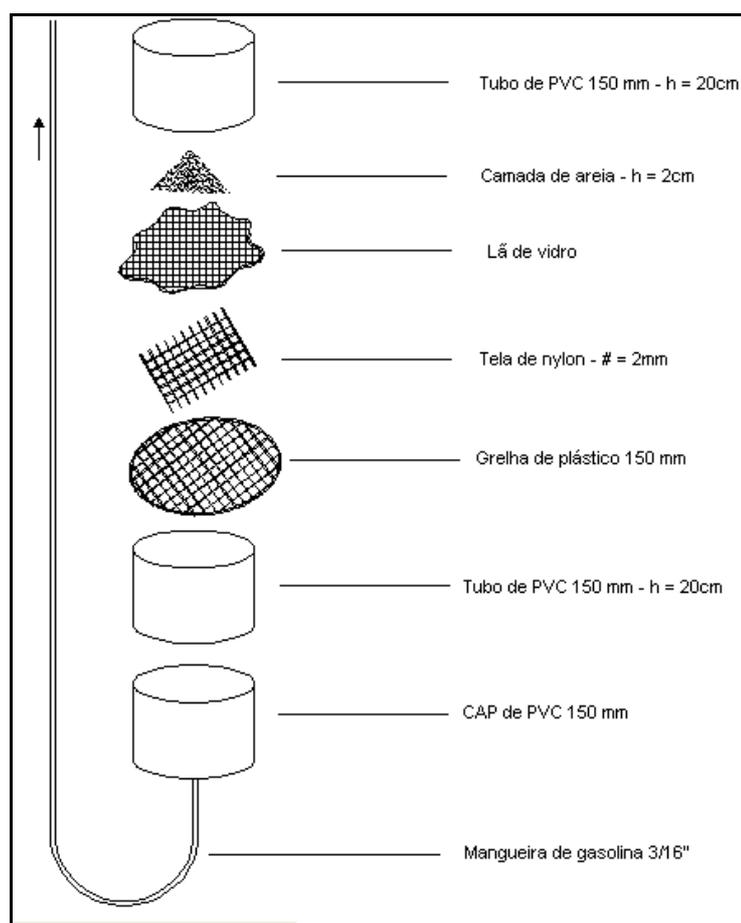


**Figura 4.10** - Tensiômetro Instalado na Área Experimental.

Fonte: Base Pesquisa, 2010.

#### **4.9. Coletores de Drenagem Livre**

Foram instalados em cada parcela da pesquisa três coletores de drenagem livre, nas profundidades 0,30 m; 0,60 m e 0,90 m., conforme modelo desenvolvido por Stefanutti et al. (2000). Os coletores permitiram avaliar o pós-tratamento dos efluentes, a redução na toxicidade do efluente no perfil do solo e a água percolada retirada dos coletores também foram realizados testes de toxicidade aguda com o microcrustáceo *Daphnia similis* e com a bactéria *Vibrio fischeri*. A Figura 4.11 ilustra a montagem do coletor e a Figura 4.12 mostra o modelo do dispositivo pronto para instalação.



**Figura 4.11** - Esquema de montagem do dispositivo coletor de drenagem livre.

Fonte: Adaptado de STEFANUTTI, 2000.



**Figura 4.12** - Modelo do coletor de drenagem livre instalado no experimento

Fonte: Base Pesquisa, 2010.

Para o experimento foram utilizados o esgoto doméstico tratado na Estação de Tratamento de Esgotos do bairro City Petrópolis e a água da represa situada na Escola Técnica Estadual - Professor Carmelino Correa Junior (Colégio Agrícola).

O esgoto doméstico foi tratado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP fazendo uso de um sistema de Lagoa Facultativa precedido de gradeamento e caixa de areia conforme pode ser observado na Figura 4.13.



**Figura 4.13** - Vista da lagoa facultativa ETE City Petrópolis, Franca-SP.

Fonte: Base Pesquisa, 2011.

A caracterização do sistema de esgotamento sanitário possui uma vazão de afluente estimada em  $3 \text{ L.s}^{-1}$  ( $268 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ ) e volume da lagoa facultativa sendo de  $6.741 \text{ m}^3$ , a partir destes foi dimensionado o tempo de detenção teórico do sistema e, obteve se assim o resultado de 25 dias. No entanto, devido ao aumento de 25% do volume de lodo gerado no fundo da lagoa esse tempo de detenção foi reduzido para 19 dias.

Após o tratamento o efluente tem como destino o corpo receptor Córrego Pouso Alto, corpo d'água classificado como classe 2. Esse córrego é afluente do Rio Canoas, manancial responsável por 80 % do abastecimento público da cidade de Franca, onde a adução do efluente foi realizada por uma tubulação mista de ferro

fundido com diâmetro de 100 mm e PVC de 50 mm, até os reservatórios de irrigação do sistema em estudo.

A água utilizada na irrigação é proveniente de uma represa Figura 4.14, situada nas instalações do Colégio Técnico Agrícola. O represamento provém de um barramento do 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 tubulação de PVC 50 mm.



**Figura 4.14** - Represa utilizada como fonte de água para irrigação.

Fonte: Base Pesquisa, 2010.

A caracterização do afluente e efluente da lagoa facultativa ETE City Petrópolis, e da água da represa, foi realizada por meio de uma série de campanhas, através da coleta de amostras compostas. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório da Divisão de Controle Sanitário e Ambiental da Sabesp, laboratório com ensaios acreditados pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização, e Qualidade Industrial) e de acordo com o “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” – 21<sup>a</sup> ed.- AWWA (American Water and Wastewater Association), e submetidas à análise de diferentes parâmetros.

#### 4.10. Monitoramento dos Percolados

O monitoramento dos líquidos percolados para os ensaios ecotoxicológicos foram realizados em 2 coletas de amostras. Estas coletas ocorreram nos meses de março/2010 e janeiro/2011.

As coletas ocorreram nos coletores de 0,30m, 0,60m e 0,90m de profundidade totalizando 96 amostras para cada coleta. Para alguns dos coletores não foi possível a coleta devido a falta da amostra ou do volume suficiente para a execução dos ensaios ecotoxicológicos com *Daphnia similis* e *Vibrio fischeri*, nesse caso foi realizado apenas o ensaio com *Vibrio fischeri* que necessitou apenas 5mL de amostra.

As coletas foram realizadas utilizando-se frasco de vidro com capacidade de 500mL com o auxílio de uma bomba de vácuo, conforme apresentado na Figura 4.15.



**Figura 4.15** - Coleta do líquido percolado

Fonte: o autor, 2010.

As coletas foram realizadas em todos os coletores que continham percolado nas profundidades de 0,30m, 0,60m e 0,90m e os ensaios ecotoxicológicos foram realizados no laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, Campinas-SP.

Os parâmetros tais como metais e salinidade dentre eles: Alumínio Total, Cádmio total, Chumbo total, Cobre total, Cromo total, Ferro Total, Manganês Total, Zinco Total, Sódio Total, foram analisados no Laboratório da SABESP de Franca - SP.

#### **4.11. Ensaio com o Micro Crustáceo *Daphnia similis* para obtenção da Toxicidade Aguda**

Os ensaios com o organismo *Daphnias similis* Figura 4.16, foram realizadas no laboratório de saneamento da Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

Os organismos foram cultivados em incubadora com controle de temperatura (20 +/-2°C) e luminosidade de aproximadamente 500 lux. Os organismos foram mantidos em recipientes contendo 1 litro de água mineral natural com dureza ajustada para 44mg(CaCO<sub>3</sub>).L<sup>-1</sup> e pH entre 7,0 e 7,6. As *Daphnias* foram alimentadas com algas *Pseudokirchneriella* cultivadas em laboratório Figura 4.18 e também foram alimentadas com a vitamina Vitormonio, extrato de truta solubilizado.

Para a realização desse ensaio foram coletados 500mL de afluentes, efluentes e água da represa em frascos de polipropileno, mantidos sob refrigeração abaixo de 10°C, por um prazo máximo 48 horas, até o momento da realização do ensaio, na impossibilidade da realização do ensaio no período estabelecido, as amostras foram congelada por um período máximo de 30 dias.

O ensaio com *Daphnia similis* permitiu determinar a toxicidade aguda através da concentração das amostras que causou ou não inibição a 50% dos organismos jovens (CE 50) de até 24 horas de idade, expostos por um período de 48 horas (período de ensaio). As condições do teste foram baseadas no método de ensaio estabelecido pela norma técnica ABNT NBR 12713 (2009).

Antes da realização do ensaio foi realizado um teste preliminar, no qual foram estabelecidos os intervalos das concentrações para cada amostra, sendo menor valor da concentração que causou imobilidade a 100% dos organismos, e a máxima concentração que não se observou efeito sobre os organismos.

A etapa seguinte, foi a utilização dos intervalos de concentrações obtidas no teste preliminar, preparando-se uma série de diluições, que variou de acordo com o potencial tóxico da amostra necessitando ou não de diluições intermediárias de

razão de diluição de 1,2 a 2.

Para cada diluição foram adicionados um total de 20 neonatos de *Daphnia similis* inclusive para o controle, distribuídos em número de cinco organismos em cada uma das quatro réplicas. Figura 4.17, Após um período de 48 horas mantidos em incubadora em temperatura controlada e fase escura foram observados e registrados o número de organismos imóveis nas réplicas de cada concentração. Para controle de qualidade do cultivo foram realizadas leituras iniciais e finais do ensaio onde foram obtidos os valores de pH, oxigênio dissolvido, condutividade e dureza de cada concentração da amostra. Após esses cuidados foi realizada a análise estatística para a determinação da CE50 (%) utilizando o programa estatístico Trimmed Spearman Karber.



**Figura 4.16:** Microcrustáceo  
*Daphnia Similis*.

Fonte: Arquivo CQMA - IPEN, 2012.



**Figura 4.17:** Tubos de ensaio com  
diferentes diluições do efluente.

Fonte: Base Projeto, 2011.



**Figura 4.18:** Incubadora dos organismos *Daphnia similis*.

Fonte: Base Projeto, 2011.

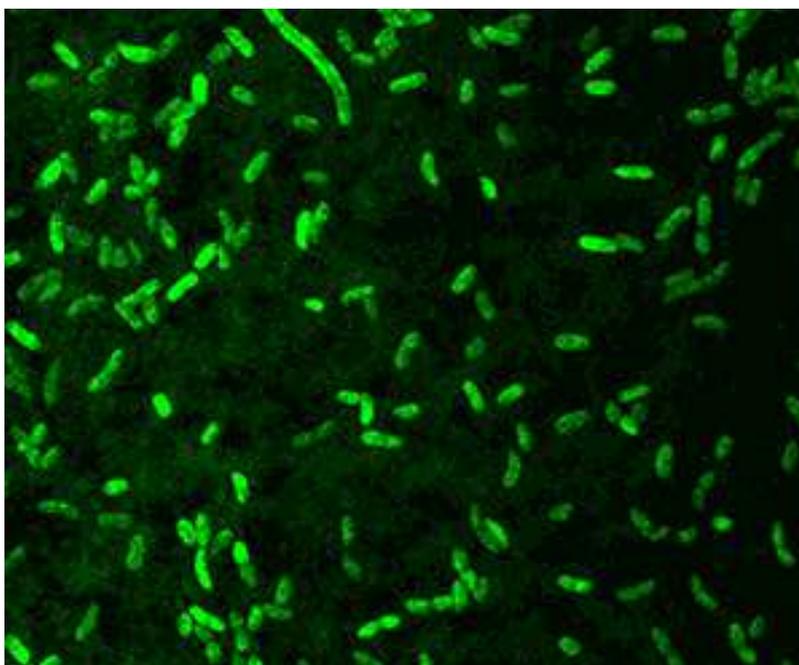
#### 4.12. Ensaio com a Bactéria *Vibrio fischeri* para Obtenção da Toxicidade Aguda

As amostras provenientes do afluente, efluente da lagoa facultativa, água da represa, água percolada nos coletores de drenagem livre e água do lençol freático proveniente dos poços de monitoramento foram analisadas no laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

Para a realização do ensaio as amostras foram coletadas em frascos de polipropileno e mantidos sob refrigeração 4°C, por no máximo 24 horas, para as amostras que não puderam ser analisadas dentro do período de 24 horas foram congeladas por um período de no máximo 30 dias, até realização do ensaio.

As bactérias liofilizadas foram armazenadas em um freezer na temperatura de -25°C, sendo reativadas no momento da realização do ensaio.

As análises foram realizadas segundo a norma ABNT NBR 15411-3 de (2006). Para se proceder com o ensaio, as bactérias luminescentes liofilizadas foram reativadas, em seguida as amostras foram diluídas de acordo com a expectativa de sua toxicidade.



**Figura 4.19:** Colônias de Fotobactérias *Vibrio fischeri*.

Fonte: [microbewiki.kennyon.edu/index.php/Vibrio\\_fischeri](http://microbewiki.kennyon.edu/index.php/Vibrio_fischeri), 2011.

A leitura da luminescência foi realizada pelo analisador de toxicidade (Microtox® 500) Figura 4.20, o equipamento basicamente consiste em um "fotômetro invertido" que capta a luz proveniente das bactérias e controla a temperatura (entre 4 ou 15 °C), mantendo a temperatura adequada para a sobrevivência dos organismos durante o ensaios. O sistema capta a luz proveniente das bactérias Figura 4.19, antes e após a exposição das amostras, fornecendo resultados em 15 minutos. Os dados de cada ensaio foram, então, analisados e comparados com auxílio do software Microtox Omni, sendo expressos em CE50 (concentração das amostras que causou inibição em 50% dos organismos).



**Figura 4.20** - Analisador de Toxicidade (Microtox® 500).

Fonte: Base Pesquisa, 2012.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos através da aplicação de efluente doméstico tratado por lagoa facultativa em cultura de eucaliptos. Os resultados são baseados na caracterização físico-química e ecotoxicológica das amostras de solo irrigado, águas dos coletores de drenagem livre e água dos poços de monitoramento.

O efluente tratado pela lagoa facultativa apesar de possuir uma baixa concentração de sólidos sedimentáveis  $< 0,5\text{mg.L}^{-1}$ , foi filtrado em um filtro de disco de 120 mesh (0,125mm) instalado após a bomba de irrigação, o que funcionou como garantia para o sistema de irrigação evitando assim o entupimento do sistema por eventuais sobrecargas de sólidos. Entretanto mesmo com a instalação desse filtro o sistema apresentou indício de entupimento devido a formação de microrganismo internamente a tubulação de irrigação devido a elevadas concentrações de Nitrogênio e Fósforo presentes no efluente. Todavia esse não foi um fator impeditivo a irrigação da cultura de eucalipto, uma vez que foram realizadas limpezas periódicas no sistema. Outros parâmetros como a cor, proveniente principalmente de sólidos dissolvidos os quais são constituídos basicamente por substâncias húmicas, aminoácidos e ácidos voláteis, contribuíram para a fertirrigação da cultura, pois estes compostos tem a tendência de se degradarem facilmente pelos microrganismos do solo.

Contudo o efluente foi aplicado de acordo com as dosagens estabelecidas no delineamento experimental, sendo obtidos resultados diferenciados para cada uma das parcelas irrigadas com água e efluente.

### 5.1. Resultados da Caracterização do Afluente, Efluente e Água da Represa Utilizados na Irrigação

As Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3, onde são descritos os resultados dos parâmetros Físico-químicos e microbiológicos, monitorados no afluente e efluente da ETE City Petrópolis e água da represa.

**Tabela 5.1** - Caracterização do afluente da ETE City Petrópolis (ensaios realizados entre 10/2010 e 10/2011, sendo realizadas 3 análises neste período).

Parâmetro	Unidade	Média	Desvio Padrão
<i>Arsênio</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,0050	-
<i>Bário</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,070	-
<i>Boro</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,50	-
<i>Cádmio</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,0010	-
<i>Cálcio</i>	mg L <sup>-1</sup>	38,95	-
<i>Chumbo</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,0030	-
<i>Cianeto</i>	mg L <sup>-1</sup>	<0,002	-
<i>Cloreto</i>	mg L <sup>-1</sup>	184	125
<i>Cobre</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,005	-
<i>Condutividade</i>	µS.cm <sup>-1</sup>	1180,2	282,0
<i>Cromo Total</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,010	-
<i>DBO</i>	mg L <sup>-1</sup>	637	111
<i>DQO</i>	mg L <sup>-1</sup>	1327	254
<i>Estanho</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 1,5	-
<i>Ferro Dissolvido</i>	mg L <sup>-1</sup>	0,540	0,236
<i>Fluoreto</i>	mg L <sup>-1</sup>	0,7	0,1
<i>Fósforo</i>	mg L <sup>-1</sup>	11,25	0,07
<i>Magnésio</i>	mg L <sup>-1</sup>	7,59	-
<i>Manganês Dissolvido</i>	mg L <sup>-1</sup>	0,048	0,020
<i>Mercúrio</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,00050	-
<i>Nitrato</i>	mgNO <sub>3</sub> -N L <sup>-1</sup>	1,01	0,01
<i>Nitrogênio Amoniacal</i>	mg L <sup>-1</sup>	68,0	25,9
<i>Óleos e graxas</i>	mg L <sup>-1</sup>	131	71
<i>pH</i>	-	7,1	0,4
<i>Prata</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,010	-
<i>Selênio</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,0030	-
<i>Sódio Total</i>	mg L <sup>-1</sup>	88,99	13,07
<i>Sólidos Sedimentáveis</i>	mg L <sup>-1</sup>	6,8	1,1
<i>Sólidos Dissolvidos Totais</i>	mg L <sup>-1</sup>	257	105
<i>Sulfetos</i>	mg L <sup>-1</sup>	1,980	1,970
<i>Zinco</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,010	-

Na Tabela 5.1 encontram-se os resultados referentes a alguns metais potencialmente tóxicos que poderiam estar presentes no esgoto, afluente da lagoa facultativa, os quais causam toxicidade em plantas ou contaminam o solo e o lençol freático, quando em excesso. Observa-se que, os metais, em sua maioria, encontram-se abaixo do limite de detecção, ou seja, se presentes, estão em quantidades muito pequenas, o que faz com que esse esgoto sanitário seja apropriado para o reuso agrícola.

Os únicos elementos presentes dentre os pesquisados que podem causar uma salinização no solo, são o sódio e outros sais combinados com cloretos, se dispostos em grandes quantidades. Já a presença de nitrogênio amoniacal e o fósforo se comportam com importantes nutrientes para as plantas.

A condutividade elétrica CE ou condutância específica permite avaliar a quantidade de sólidos totais dissolvidos - TDS que representa a medida dos íons na água. a medição ocorre principalmente pela presença dos íons de cálcio, magnésio, potássio, sódio, bicarbonatos, sulfatos e cloretos. O parâmetro CE não determina, especificamente, quais os íons presentes em determinada amostra de água, mas pode contribuir para o reconhecimento de ambientes impactados por esgoto sanitário. O efluente utilizado na irrigação (Tabela 5.2) apresentou condutância elevada ( $795,20 \pm 48,84 \text{ uS.cm}^{-1}$ ). Logo, é necessário monitorar o solo, a fim de evitar uma salinização que dificulte o desenvolvimento da cultura de eucalipto e contaminação do lençol freático.

Em relação à condutividade, percebe-se também, ao se comparar a Tabela 5.1 com a Tabela 5.2, ouve uma redução no valor de CE do afluente ( $1180,2 \pm 282$ ) em relação ao encontrado no efluente ( $795,20 \pm 48,84$ ). Tal fato deve a possibilidade da decomposição de moléculas complexas em moléculas mais simples, como a decomposição de ácidos graxos e nitrogênio amoniacal na forma de nitrato e nitrito, as quais ajudam a consumir álcalis dissolvidos, contribuindo para reduzir o valor da condutividade.

**Tabela 5.2** - Caracterização do efluente da ETE City Petrópolis (ensaios realizados entre 10/2010 e 10/2011, sendo realizadas 3 análises neste período).

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Limite de detecção</b>
<b>Arsênio</b>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,0050	-	< 0,010
<b>Boro</b>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,50	-	
<b>Cádmio</b>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,0010	-	< 0,010
<b>Cálcio</b>	mg L <sup>-1</sup>	36,27	-	
<b>Chumbo</b>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,0030	-	< 0,100
<b>Cianeto</b>	mg L <sup>-1</sup>	<0,002	-	
<b>Cloreto</b>	mg L <sup>-1</sup>	140	46	
<b>Cobre</b>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,005	-	< 0,100
<b>Condutividade</b>	µS.cm <sup>-1</sup>	795,20	48,84	
<b>Cromo Total</b>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,010	-	< 0,050
<b>DBO</b>	mg L <sup>-1</sup>	143	25	
<b>DQO</b>	mg L <sup>-1</sup>	491	14	
<b>Estanho</b>	mg L <sup>-1</sup>	< 1,5	-	
<b>Ferro Dissolvido</b>	mg L <sup>-1</sup>	0,325	0,088	
<b>Fluoreto</b>	mg L <sup>-1</sup>	0,7	0,1	
<b>Fósforo</b>	mg L <sup>-1</sup>	6,80	1,00	
<b>Magnésio</b>	mg L <sup>-1</sup>	5,472	-	
<b>Manganês Dissolvido</b>	mg L <sup>-1</sup>	0,051	0,021	
<b>Mercúrio</b>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,00050	-	< 0,005
<b>Nitrato</b>	mgNO <sub>3</sub> -N L <sup>-1</sup>	<1	-	
<b>Nitrogênio Amoniacal</b>	mg L <sup>-1</sup>	31,7	3,1	
<b>Óleos e graxas</b>	mg L <sup>-1</sup>	15	7	
<b>pH</b>	-	7,3	0,1	
<b>Selênio</b>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,0030	-	
<b>Sódio Total</b>	mg L <sup>-1</sup>	70,70	9,67	
<b>Sólidos Sedimentáveis</b>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,10	-	
<b>Sólidos Dissolvidos Totais</b>	mg L <sup>-1</sup>	352	176	
<b>Sulfetos</b>	mg L <sup>-1</sup>	0,5313	0,5628	
<b>Zinco</b>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,010	-	<0,100

**Tabela 5.3** - Caracterização da água da represa (ensaios realizados entre 10/2010 e 10/2011, sendo realizadas 3 análises neste período).

Parâmetro	Unidade	Média	Desvio Padrão
<i>Arsênio</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,0050	-
<i>Boro</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,50	-
<i>Cádmio</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,0010	-
<i>Cálcio</i>	mg L <sup>-1</sup>	0,783	-
<i>Chumbo</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,0030	-
<i>Cianeto</i>	mg L <sup>-1</sup>	<0,002	-
<i>Cloreto</i>	mg L <sup>-1</sup>	3	2
<i>Cobre</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,005	-
<i>Condutividade</i>	μS.cm <sup>-1</sup>	20,82	2,45
<i>Cor Verdadeira</i>	uC	12	5
<i>Cromo Total</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,010	-
<i>DBO</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 4	-
<i>DQO</i>	mg L <sup>-1</sup>	13,6	3,5
<i>Estanho</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 1,5	-
<i>Ferro Dissolvido</i>	mg L <sup>-1</sup>	0,359	0,418
<i>Fluoreto</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,1	-
<i>Fósforo</i>	mg L <sup>-1</sup>	0,08	0,03
<i>Magnésio</i>	mg L <sup>-1</sup>	0	-
<i>Manganês Total</i>	mg L <sup>-1</sup>	0,034	0,018
<i>Mercúrio</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,00050	-
<i>Nitrato</i>	mg NO <sub>3</sub> -N L <sup>-1</sup>	< 1	-
<i>Nitrito</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,2	-
<i>Nitrogênio Amoniacal</i>	mg L <sup>-1</sup>	0,20	0,09
<i>Óleos e graxas</i>	mg L <sup>-1</sup>	0	-
<i>Oxigênio Dissolvido</i>	mg L <sup>-1</sup>	7,0	0,8
<i>pH</i>	-	7,1	0,3
<i>Selênio</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,0030	-
<i>Sódio Total</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,50	-
<i>Sólidos Sedimentáveis</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,10	-
<i>Sólidos Dissolvidos Totais</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 60	-
<i>Sulfato</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 10	-
<i>Sulfetos</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,005	-
<i>Turbidez</i>	NTU	20,3	2,1
<i>Zinco</i>	mg L <sup>-1</sup>	< 0,010	-

Pode ser observado na Tabela 5.3 que, em relação aos parâmetros químicos pesquisados, a água da represa apresenta boa qualidade para utilização na irrigação dos tratamentos T1 e T2. Todos os possíveis metais tóxicos, os quais poderiam causar algum tipo de toxicidade nos organismos testes *Daphnia similis* e *Vibrio fischeri*, encontram-se abaixo do limite de quantificação, evitando assim uma possível toxicidade. Outros parâmetros importantes sob o aspecto agrônômico, como a condutividade, concentração de cloreto e sódio (responsáveis pelo aumento da salinidade do solo durante a irrigação), fósforo, nitrogênio amoniacal e nitrato (nutrientes importantes para as plantas) também encontram-se em baixas concentrações, o que, provavelmente, não tornará a água imprópria para a irrigação em relação a contaminações da planta, do solo e do lençol freático, considerando uma irrigação contínua e de longo prazo, como é o caso da proposta da irrigação na cultura do eucalipto.

A Tabela 5.4 apresenta os valores determinados em laboratório para alguns elementos passíveis de causar toxicidade nos organismos testes. Estes valores referem-se a alguns parâmetros analisados em solo. Esta Tabela 5.4 apresenta os valores obtidos na campanha de coleta de amostra do solo na profundidade de (0 - 0,20) metro realizada em agosto de 2010, após um período de irrigação com efluente tratado de aproximadamente 4 anos. Verifica-se que para os metais Zinco (Zn) e Ferro (Fe) as concentrações estão elevadas, o que possivelmente ocorreu devido ao acúmulo desses elementos pela aplicação do efluente. No entanto, comparando esses valores com os de análises preliminares, Tabela 5.5, realizadas em novembro de 2007 por (RAMIREZ, 2009) em sua Dissertação de Mestrado defendida na Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp, apontaram um expressivo valor das concentrações desses elementos na amostra composta de solo, antes das aplicações dos efluentes tratados e água da represa. Assim (RAMIREZ, 2009) relatou que as concentrações desses elementos indicaram alguma contaminação no local em decorrência de atividades anteriores à instalação da pesquisa.

Em relação as elevadas concentrações dos metais Zinco (Zn) e Ferro (Fe) encontrados na amostra de solo perfil 0 - 0,2 m, onde também foi encontrada essa proporcionalidade para a amostra de solo coletada no perfil de 0,20 a 0,40 metro Tabela 5.6. Todavia, essa elevação das concentrações desses elementos ocorreram principalmente nos tratamentos T1 e T2, tratamentos que receberam água da represa, indicando que a elevação dessas concentrações não foram acarretadas exclusivamente pela irrigação com efluente tratado.

**Tabela 5.4** - Resultados médios das análises de fertilidade do solo dos tratamentos na área experimental em Agosto/2010 na profundidade de 0 a 0,20m.

Parâmetro	Unidade	Tratamento							
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
<b>M.O.</b>	g dm <sup>-3</sup>	16,2	16,5	16,2	17,0	17,2	18,2	16,5	17,2
<b>pH</b>		5,2	5,0	5,0	4,7	4,6	4,5	4,4	4,9
<b>P</b>	mg dm <sup>-3</sup>	12,0	42,8	12,2	12,8	13,5	51,5	17,5	10,8
<b>K</b>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,65	0,73	0,70	0,5	0,6	0,6	0,7	0,9
<b>Ca</b>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	14,5	16,2	11,0	10,8	11,5	9,2	9,0	10,5
<b>Mg</b>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	4,2	3,5	2,8	2,2	1,8	1,5	1,5	4,0
<b>Na</b>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	<0,1	0,15	0,48	0,63	0,50	1,05	0,93	<0,1
<b>H + Al</b>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	23	21	16	23	25	31	24	18
<b>S.B.</b>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	20,2	20,5	14,2	14,2	14,5	12,3	12,0	15,2
<b>C.T.C.</b>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	43,4	41,9	30,2	38,0	39,6	43,6	35,7	33,9
<b>V%</b>	%	46,5	45,5	45,5	37,5	36,2	28,8	33,2	44,5
<b>B</b>	mg dm <sup>-3</sup>	0,11	0,19	0,11	0,14	0,15	0,18	0,15	0,14
<b>Cu</b>	mg dm <sup>-3</sup>	4,4	4,2	1,9	2,2	1,4	2,6	0,8	0,9
<b>Fe</b>	mg dm <sup>-3</sup>	50,8	37,5	20,5	35,5	42,5	73,3	37,2	26,0
<b>Mn</b>	mg dm <sup>-3</sup>	4,6	3,3	0,9	2,6	2,2	2,4	1,7	1,1
<b>Zn</b>	mg dm <sup>-3</sup>	26,7	26,8	9,1	12,4	15,2	7,6	2,0	3,2

Onde: M.O.=Matéria Orgânica; P=Fósforo; K=Potássio; Ca=Cálcio; Mg=Magnésio; Na=Sódio; H + Al=Acidez total; S.B.=Soma de Base; C.T.C.=Capacidade de troca de cátions; V%=porcentagem da CTC saturada por bases a pH 7; B=Boro; Cu=Cobre; Fe=Ferro; Mn=Manganês; Zn=Zinco.

**Tabela 5.5.** Resultados das análises químicas de solo proveniente da cultura de eucalipto, nas profundidades 0-0,20 m; 0,20-0,40 m; 0,40-0,60 m; 0,60-0,80 m e 0,80-1,00 m. Resultados coletados em novembro de 2007 divulgado por (RAMIREZ, 2009).

Parâmetro	Unidade	Tratamento				
		0 – 0,2	0,2 – 0,4	0,4 – 0,6	0,6 – 0,8	0,8 – 1,0
<b>M.O.</b>	g dm <sup>3-</sup>	25	22	16	14	13
<b>pH</b>		5,7	5,5	5,5	5,6	5,8
<b>P</b>	mg dm <sup>3-</sup>	20	8	3	1	1
<b>K</b>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>3-</sup>	0,9	1,3	0,9	0,4	0,4
<b>Ca</b>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>3-</sup>	21	17	9	6	6
<b>Mg</b>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>3-</sup>	7	6	3	2	2
<b>H + Al</b>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>3-</sup>	16	18	16	15	13
<b>B</b>	mg dm <sup>3-</sup>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
<b>Cu</b>	mg dm <sup>3-</sup>	2,1	3	1	0,5	0,4
<b>Fe</b>	mg dm <sup>3-</sup>	17	16	12	7	5
<b>Mn</b>	mg dm <sup>3-</sup>	1,8	1,2	0,3	0,2	0,2
<b>Zn</b>	mg dm <sup>3-</sup>	13,1	10,2	4,4	1,7	1,2
<b>Cd</b>	mg dm <sup>3-</sup>	0,04	0,03	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Cr</b>	mg dm <sup>3-</sup>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Ni</b>	mg dm <sup>3-</sup>	0,06	0,04	0,02	0,01	<0,01
<b>Pb</b>	mg dm <sup>3-</sup>	2,77	2,22	0,76	0,36	0,3

Onde: M.O.= Matéria Orgânica; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; H + Al = Acidez total; B.= Boro; Cu = Cobre; Fe = Ferro; Mn = Manganês; Zn = Zinco; Cd = Cádmo; Cr = Cromo; Ni = Níquel; Pb = Chumbo.

Fonte: Adaptado de (RAMIREZ, 2009)

**Tabela 5.6** - Resultados médios das análises de fertilidade do solo nos tratamentos na área experimental em Agosto/2010 na profundidade de 0,2 a 0,4m.

Parâmetro	Unidade	Tratamento							
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
<b>M.O .</b>	g dm <sup>3-</sup>	16,2	16,8	14,2	14,0	13,0	14,5	14,0	14,5
<b>pH</b>		5,2	5,2	5,2	4,9	4,9	4,6	4,8	5,2
<b>P</b>	mg dm <sup>3-</sup>	12,0	51,5	6,5	5,2	4,0	36,8	15,8	8,8
<b>K</b>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>3-</sup>	0,65	0,68	0,50	0,90	0,48	0,58	0,60	0,85
<b>Ca</b>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>3-</sup>	14,5	19,8	11,0	9,5	7,2	8,2	8,8	10,5
<b>Mg</b>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>3-</sup>	4,2	3,5	2,8	1,8	1,2	2,0	2,8	5,2
<b>Na</b>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>3-</sup>	<0,1	0,15	0,25	0,70	0,35	0,80	0,93	<0,1
<b>H + Al</b>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>3-</sup>	17,2	17,5	16,0	18,0	16,5	23,0	18,5	16,2
<b>S.B.</b>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>3-</sup>	19,4	24,2	14,2	13,0	9,4	11,5	13,2	16,2
<b>C.T.C.</b>	mmol <sub>c</sub> dm <sup>3-</sup>	36,9	42,0	30,2	31,2	25,9	34,8	32,0	32,8
<b>V%</b>	%	52,2	54,5	45,5	40,5	36,5	32,5	41,0	48,8
<b>B</b>	mg dm <sup>3-</sup>	0,11	0,15	0,11	0,13	0,11	0,13	0,12	0,11
<b>Cu</b>	mg dm <sup>3-</sup>	3,3	4,0	1,9	1,4	0,6	1,7	0,6	0,6
<b>Fe</b>	mg dm <sup>3-</sup>	26,5	30,8	20,5	23,5	20,5	28,0	27,2	18,2
<b>Mn</b>	mg dm <sup>3-</sup>	1,6	2,4	0,9	1,4	0,6	2,6	0,8	0,7
<b>Zn</b>	mg dm <sup>3-</sup>	23,3	25,8	9,1	7,5	1,4	6,8	0,73	1,0

Onde: M.O.= Matéria Orgânica; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; Na = Sódio; H + Al = Acidez total; S.B.= Soma de Base; C.T.C.= Capacidade de troca de cátions; V% = porcentagem da CTC saturada por bases a pH 7; B = Boro; Cu = Cobre; Fe = Ferro; Mn = Manganês; Zn = Zinco.

De acordo com as Tabelas 5.4 e 5.6, o pH do solo varia entre 4,4 e 5,2 dentre as diferentes profundidades. Uma maior retenção de zinco tem sido observada em solos com pH elevado (FORBES et. al., 1976) verificaram que a valores de pH iguais a 5,9 apenas 11% do zinco adicionado era adsorvido, contra 61% quando o pH era elevado a 7,2. Logo, espera-se que o zinco seja lixiviado junto com a água percolada, por estar fracamente ligado ao solo. KALBASI e RACZ, em 1978, observaram em seus estudos que os teores de zinco no solo estavam significativamente correlacionados com os teores de ferro e alumínio.

## 5.2. Resultado das Análises Químicas da Água Percolada nos Coletores de Drenagem Livre

No sentido de se investigar o comportamento e deslocamento dos elementos que foram ou não lixiviados no solo, foi realizado a coleta de amostras do percolado, através de coletores de drenagem livre instalados no início do projeto. Esses coletores tiveram a função de captar e armazenar o líquido percolado decorrente das irrigações, assim a partir dessas amostras foram determinadas com maior precisão o potencial de contaminação por elementos como o Zinco e o Chumbo.

De acordo com os resultados obtidos Tabelas (5.7.1 a 5.7.8), foi possível inferir que não houve contaminação em nenhuma das amostras coletadas, uma vez que as concentrações de metais como Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) se mantiveram abaixo do limite recomendado pela Resolução CONAMA 430/2011 que estipulou uma concentração limite de  $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$  respectivamente, para os elementos chumbo e zinco. Os valores máximos obtidos entre todas as amostras foram para o Chumbo  $0,0856 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $0,254 \text{ mg.L}^{-1}$  para o Zinco, por tanto mesmo se esses resultados fossem comparados com os valores orientados da FAO eles estariam conformes e indicariam a possibilidade de irrigação continuada na área.

Apesar dos valores de Alumínio não terem sido avaliados nos coletores de drenagem, concentrações avaliadas no solo de todos tratamento merecem atenção significativa, quanto ao seu potencial de toxicidade em baixos valores de pH. O Al, quando em soluções ácidas ( $\text{pH} < 5,0$ ), apresenta-se principalmente na forma de  $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ , a qual é tóxica para as plantas. O primeiro sintoma de toxidez é a inibição do alongamento da raiz, que ocorre cerca de 1-2 h após a exposição a Al (Kochian, 1995). Este cátion, quando em contato com as raízes, promove rapidamente a paralisação do crescimento radicular, tornando-as atrofiadas em função da morte do meristema radicular.

**Tabela 5.7.1 - Tratamento 1**

Camada	pH	C. E. ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	Pb Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )	Zn Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )	Na Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )
30 cm	6,28	37,67	0,0219	0,003	0,01
60 cm	6,85	89,67	0,0587	0,002	0,13
90 cm	6,93	128,26	0,0856	0,012	0,06

C. E. - Condutividade Elétrica.

**Tabela 5.7.2 - Tratamento 2**

Camada	pH	C. E. ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	Pb Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )	Zn Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )	Na Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )
30 cm	5,55	32,63	0,0165	0,027	0,00
60 cm	6,38	42,47	0,0541	0,089	0,06
90 cm	6,10	72,23	0,0460	0,031	0,07

C. E. - Condutividade Elétrica.

**Tabela 5.7.3 - Tratamento 3**

Camada	pH	C. E. ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	Pb Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )	Zn Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )	Na Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )
30 cm	6,21	75,31	0,0402	0,167	3,63
60 cm	6,32	165,85	0,0495	0,038	11,30
90 cm	6,31	114,19	0,0495	0,036	5,47

C. E. - Condutividade Elétrica.

**Tabela 5.7.4 - Tratamento 4**

Camada	pH	C. E. ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	Pb Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )	Zn Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )	Na Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )
30 cm	6,23	307,02	0,0452	0,064	31,96
60 cm	6,40	314,27	0,0446	0,172	40,31
90 cm	6,54	583,38	0,0281	0,037	54,50

C. E. - Condutividade Elétrica

**Tabela 5.7.5 - Tratamento 5**

Camada	pH	C. E. ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	Pb Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )	Zn Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )	Na Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )
30 cm	6,44	155,92	0,0377	0,052	12,57
60 cm	5,95	216,98	0,0351	0,048	20,89
90 cm	6,05	187,09	0,0469	0,041	16,78

C. E. - Condutividade Elétrica.

**Tabela 5.7.6 - Tratamento 6**

Camada	pH	C. E. ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	Pb Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )	Zn Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )	Na Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )
30 cm	6,24	189,68	0,0205	0,065	13,67
60 cm	6,32	363,17	0,0270	0,065	43,74
90 cm	6,26	259,44	0,0116	0,071	22,16

C. E. - Condutividade Elétrica.

**Tabela 5.7.7 - Tratamento 7**

Camada	pH	C. E. ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	Pb Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )	Zn Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )	Na Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )
30 cm	6,36	418,87	0,0783	0,047	41,98
60 cm	5,62	492,50	0,0696	0,254	49,98
90 cm	*	*	*	*	*

C. E. - Condutividade Elétrica. \*dados não disponíveis

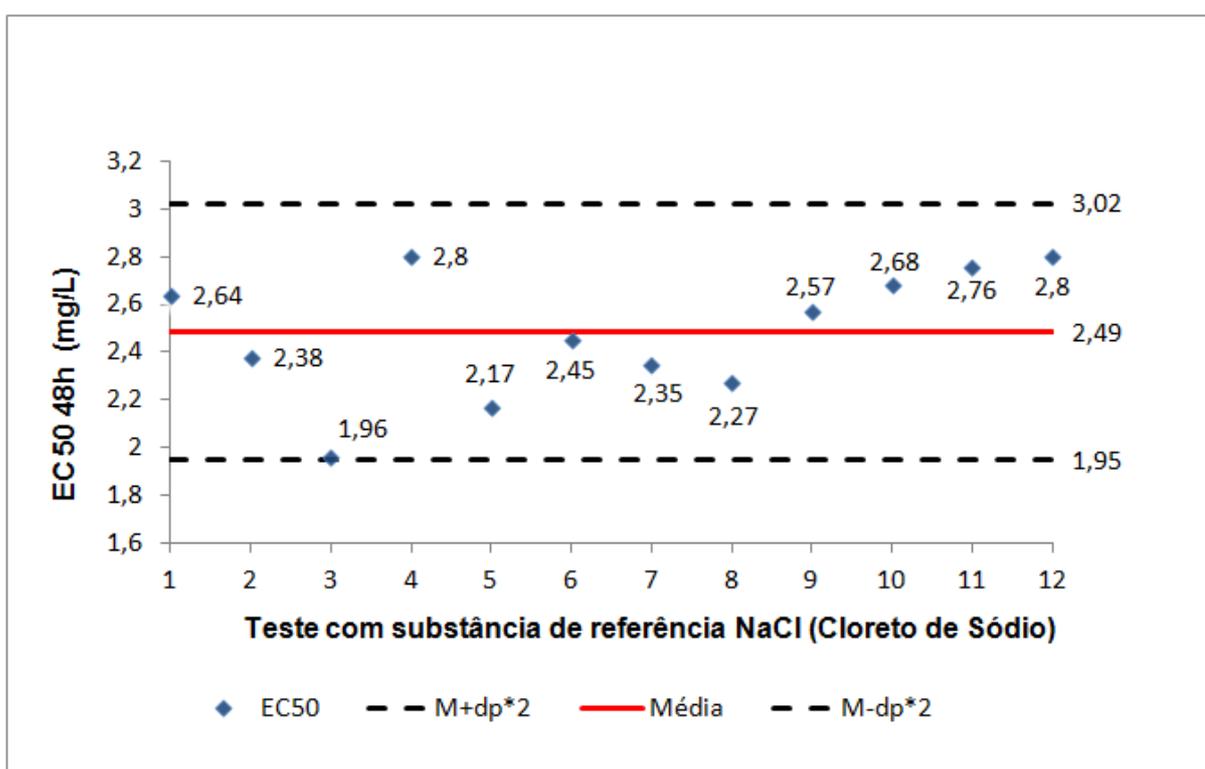
**Tabela 5.7.8 - Tratamento 8**

Camada	pH	C. E. ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	Pb Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )	Zn Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )	Na Total ( $\text{mgL}^{-1}$ )
30 cm	6,16	36,25	0,0266	0,007	0,01
60 cm	6,53	76,60	0,0556	0,009	0,39
90 cm	6,70	82,38	0,0132	0,010	*

C. E. - Condutividade Elétrica. \*dados não disponíveis

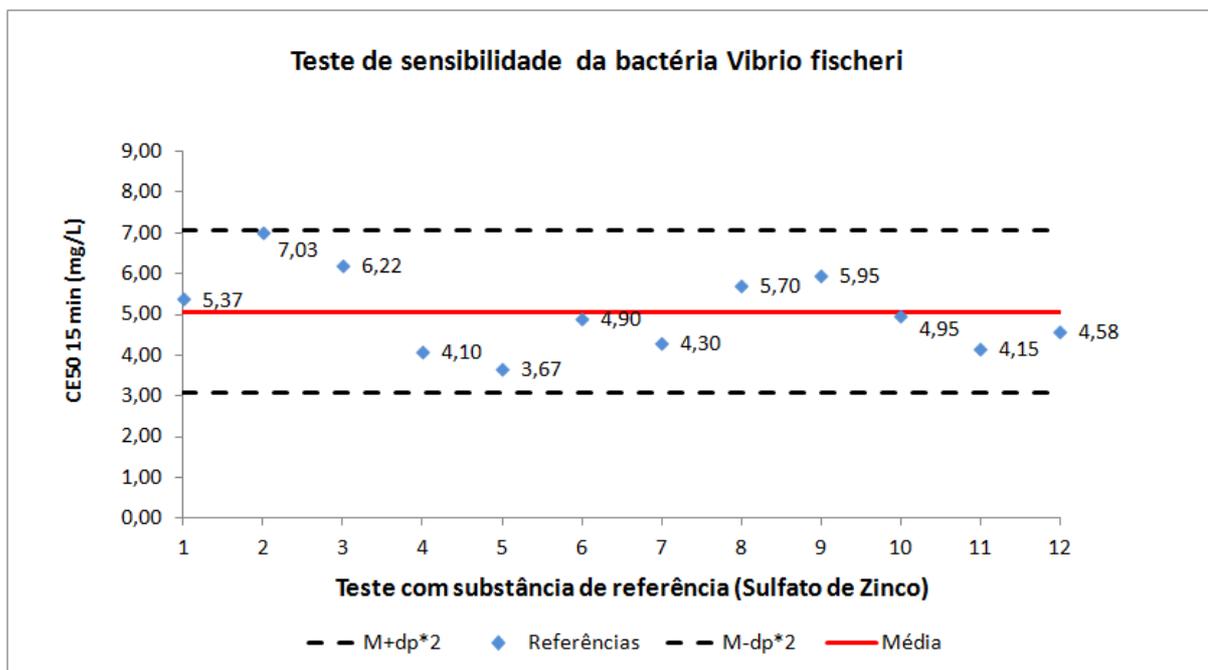
### 5.3. Resultados Ecotoxicológicos

Os ensaios de sensibilidade e a elaboração da carta controle foram realizados periodicamente de acordo com a norma NBR 12713/2009 (*Daphnias similis*) Figura 5.1 e para a Bactéria (*Vibrio fischeri*) foi realizado o teste de referência do Software SDI MicrotoxOmni 4.0, juntamente com a norma NBR 15411-3/2006. Os ensaios com o organismo *Daphnia similis* foram realizados em um período de 48 horas e para a bactéria *Vibrio fischeri* foram realizados em períodos de 15 minutos.



**Figura 5.1** - Carta Controle de Sensibilidade com o organismo *Daphnia similis* exposto a substância de referência NaCl - (Cloreto de Sódio) em 48 horas de exposição

Para construção da Carta Controle foram calculados a média dos resultados de CE50 (X), coeficiente de variação (CV) e dois valores de desvio padrão ( $2\sigma$ ) superior e inferior a média obtida, onde esses valores foram grafados na carta controle através de linhas perpendiculares ao eixo que apresenta os resultados dos ensaios de toxicidade. (Segundo NBR 12713/2009).



**Figura 5.2** - Carta Controle de Sensibilidade com o organismo *Vibrio fischeri* exposto a substância de referência  $ZnSO_4$  - (Sulfato de Zinco) em 15 minutos de exposição

Os resultados que ultrapassarem os limites de controle ( $\pm 2\sigma$ ) ao longo do tempo indicam que pode haver problemas com o ensaio, realizando ajustes no ensaio para uma nova constatação realizando se um novo ensaio com a solução de referência.

Os resultados de sensibilidade com o organismo *Daphnia similis* foram obtidos após um período de 48 horas de teste, onde foi encontrado um valor médio de 2,49 mg(NaCl).L<sup>-1</sup>, com um CV (coeficiente de variação) de 7,2% e um DP (desvio padrão) de 0,27, indicando que os ensaio de toxicidade foram realizados de forma correta. A Figura 27 apresenta os valores de sensibilidade para o organismo *Daphnia similis*.

As mesmas boas condições de ensaio foram obtidas nos testes de sensibilidade para a bactéria (*Vibrio fischeri*), onde foram obtidos valores médios de 5,08 mg( $ZnSO_4$ ).L<sup>-1</sup> com CV de 19,7% e DV foi de 1,0. de acordo com a Figura 5.2.

#### 5.4. Resultados Ecotoxicológicos da Água dos Coletores de Drenagem

Os testes ecotoxicológicos realizados com os organismos *Daphnia similis* e *Vibrio fischeri* apresentaram diferenças significativas nos resultados, indicando uma elevada toxicidade para o organismo *Daphnia similis*, no entanto esse efeito tóxico não foi identificado para a bactéria *Vibrio fischeri*, apresentando somente um toxicidade moderada para o tratamento T7, tratamento esse onde foi irrigado com 1,5 vezes a dose hídrica da cultura de eucalipto,

Devido há alguns problemas decorrentes do cultivo do organismo *Daphnia similis* os valores de CE<sub>50</sub> para a primeira etapa foram desconsiderados, tomando como base os resultados do organismo *Vibrio fischeri*., que apresentou resultados condizentes com as amostras, uma vez que a caracterização físico-química do efluente e da água da represa não apresentaram desvios significativos para os elementos analisados. Indicando assim que o efluente não ocasionou efeito tóxico quando administrando sobre o teto da dose hídrica da planta, o que pode ser comprovado com o resultado do tratamento T7 irrigado, acarretando um fraca toxicidade com CE50 67,4 % conforme apresentado na Tabela 5.8.

**Tabela 5.8** - Resultados da Toxicidade 1ª Etapa (Coleta Abril de 2010)

<b>(CE<sub>50</sub>) <i>Vibrio fischeri</i></b>								
<b>30 cm</b>	94,7	NT	NT	97,4	*	94,1	84,2	93,7
<b>60 cm</b>	98,8	97,1	91,8	98,0	95,0	96,6	67,4	NT
<b>90 cm</b>	96,4	99,6	97,6	97,2	97,2	84,3	*	*
<b>(CE<sub>50</sub>) <i>Daphnia similis</i></b>								
<b>30 cm</b>	25,3	#	65,7	#	76,0	#	45,7	47,3
<b>60 cm</b>	54,9	#	#	74,3	#	61,4	#	#
<b>90 cm</b>	#	#	#	#	#	53,8	#	#
<b>Tratamentos</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>

NT - Não Tóxico, # - os valores não puderam ser calculados no Software trimmed spearman-karber.

No entanto a segunda etapa de coleta e análises das amostras realizada em março de 2011, apresentaram resultados condizentes entre os dois organismos, indicando uma fraca toxicidade para a bactéria *Vibrio fischeri*, conforme pode ser observado na Tabela 5.9. Os resultados referentes ao organismo *Daphnia similis* apresentam poucos pontos com toxicidade, sendo a maior parte com moderado efeito ou isento de toxicidade.

**Tabela 5.9** - Resultados da Toxicidade 2<sup>a</sup> Etapa (Coleta março de 2011)

<b>(CE<sub>50</sub>) <i>Vibrio fischeri</i></b>								
	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>
<b>30 cm</b>	85,3	77,3	NT	76,4	*	72,7	92,4	56,7
<b>60 cm</b>	64,1	52,0	66,8	72,8	81,9	85,0	29,1	NT
<b>90 cm</b>	77,1	64,6	77,6	79,8	77,6	78,8	*	*
<b>(CE<sub>50</sub>) <i>Daphnia similis</i></b>								
	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>
<b>30 cm</b>	N Tox	N Tox	N Tox	M Tox	*	N Tox	N Tox	M Tox
<b>60 cm</b>	N Tox	Tox	Tox	M Tox	N Tox	N Tox	Tox	*
<b>90 cm</b>	N Tox	Tox	N Tox	N Tox	N Tox	N Tox	*	*
<b>Tratamentos</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>	<b>T8</b>

(NT) - Não Tóxico, (Tox) - Tóxico, (M Tox) - Moderadamente Tóxico e (#) - os valores não puderam ser calculados no Software trimmed spearman-karber., (\*) - Volume insuficiente de amostra.

### 5.5. Resultados Ecotoxicológicos dos Poços de Monitoramento

As amostras dos poços de monitoramento apresentaram valores homogêneos sem efeitos tóxicos significativos para ambos os organismos Tabela 5.10. O que possivelmente indica a inexistência de contaminantes no lençol freático provenientes da aplicação do efluente tratado, indicação essa, reforçada pelos valores físico-químicos que se mostraram dentro dos limites da resolução CONAMA 396 de 2008, onde somente o elemento manganês ultrapassou o limite em valores médios de VPM (Valores Máximos Permitidos), para o tratamento 6 irrigado com 1 vez a dose hídrica, sendo que o tratamento T7 irrigado com 1,5 vezes a dose hídrica não ultrapassou os valores de VPM. Somando se a isso os valores de Cádmio, Ferro e Manganês tiveram apenas picos que ultrapassando os valores orientadores da Resolução 430 de 2011, conforme apresentado na Tabela 5.11.

**Tabela 5.10** - Toxicidade nos organismos *Vibrio fischeri* e *Daphnia similis* das amostras dos poços de monitoramento

Amostras	(CE <sub>50</sub> ) <i>Vibrio fischeri</i>		(CE <sub>50</sub> ) <i>Daphnia similis</i>	
	Abril/2010	Nov/2011	Abril/2010	Nov/2011
Poço 1	74,3	92,4	NT	NT
Poço 2	81,4	82,0	NT	NT
Poço 3	> 100 %	76,9	NT	NT
Poço 4	83,6	*	NT	*
Poço 5	95,3	89,9	NT	NT
Poço 6	73,8	89,9	NT	NT
Poço 7	92,1	83,7	NT	NT
Poço 8	87,1	74,8	NT	NT

NT – Não Tóxico, \* Valores não disponíveis

**Tabela 5.11** - Valores Orientadores Segundo CONAMA 396/08 (Concentração de Metais nos Poços de Monitoramento).

Metais Analisados	Concentrações de Valores Médios em mg.L-1																CONAMA 396/08 *	
	T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7		T8		VMP	LQP
	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.	Média	Máx.		
<b>Alumínio</b>	<0,05	0,09	<0,05	0,06	0,13	0,18	0,17	0,17	0,22	0,84	0,52	1,76	0,09	0,19	0,067	0,13	<b>5,0</b>	0,05
<b>Cádmio</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,009	0,009	<0,001	<0,001	<0,001	<b>0,020</b>	<0,001	<b>0,030</b>	<0,001	<0,001	0,01	0,005
<b>Chumbo</b>	0,015	0,040	0,006	0,017	0,004	0,007	0,004	0,004	0,007	0,013	0,026	0,1071	0,006	0,022	0,007	0,0156	<b>5,0</b>	0,01
<b>Cobre</b>	0,005	0,010	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,018	0,005	0,023	0,005	0,005	0,005	0,005	0,2	0,05
<b>Ferro</b>	0,1510	0,5500	0,1010	0,1510	0,1490	0,2400	0,0640	0,0640	0,1600	2,3600	4,9400	<b>23,2100</b>	1,1100	<b>7,4700</b>	1,1110	0,2970	5,00	0,1
<b>Manganês</b>	0,052	0,146	0,029	0,073	0,044	0,081	0,132	0,132	0,193	<b>0,455</b>	<b>1,700</b>	<b>3,509</b>	0,109	0,132	0,177	0,940	0,20	0,025
<b>Zinco</b>	0,010	0,013	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,015	0,010	0,010	0,010	0,010	2,00	0,1
<b>Sódio</b>	0,025	0,440	0,170	0,200	0,406	0,850	3,770	3,770	0,460	0,470	1,835	4,760	2,970	4,570	0,365	0,370	---	1,0

**n** - valores acima dos VMP - (Valores Máximos Permitidos) pela Resolução CONAMA 396 de 2008.

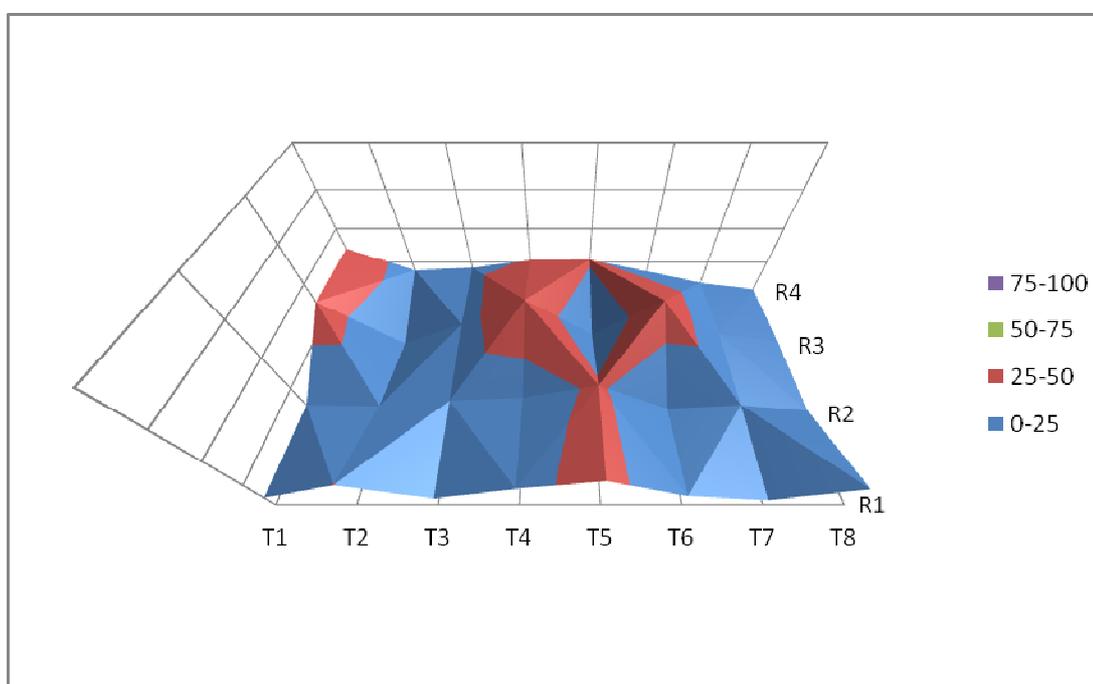
LQP - Limite de Quantificação dos Parâmetros.

## 5.6. Resultados Ecotoxicológicos das Amostras de Solo (Coleta Julho 2010)

As amostras de solo apresentaram valores que indicaram uma falta de uniformidade dos dados apresentados, quando comparados com os valores de metais (Cu) - Cobre e (Zn) - Zinco conforme pode ser observado na Tabela 5.13. No entanto a variabilidade das percentagens de inibição ocorreram possivelmente em detrimento a um fator externo a relação água, efluente e solo.

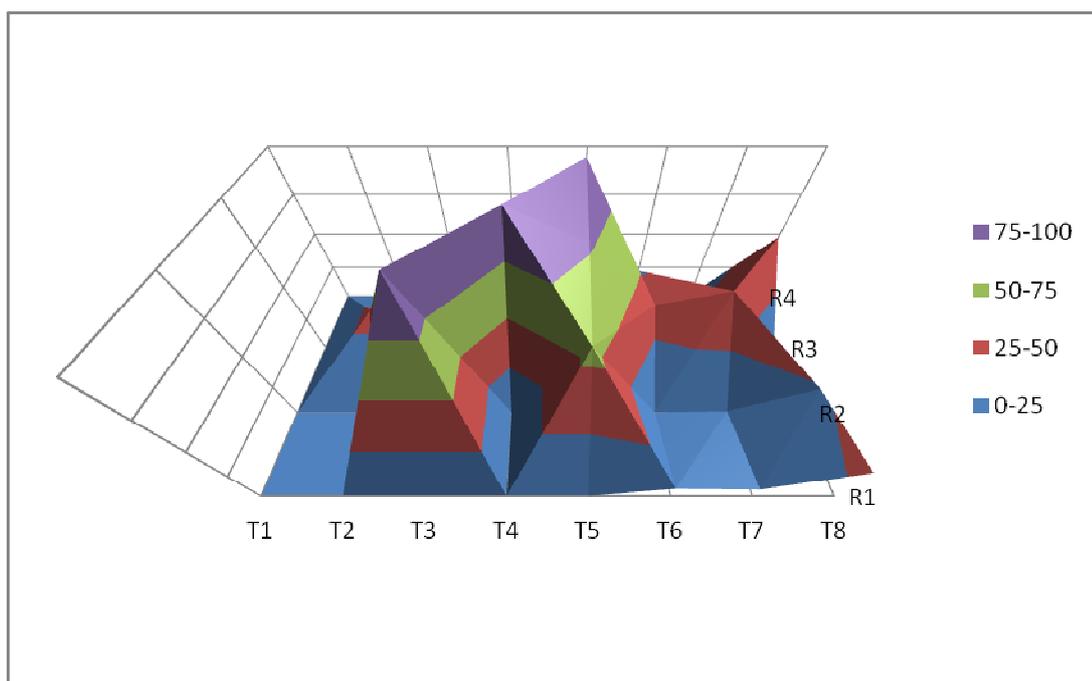
De acordo com a hipótese elencada foi pesquisado em bibliografia especializada a presença de compostos produzidos e segregados pelas plantas, a qual espécie de (*eucaliptus*) foi identificada como uma das plantas com a capacidade de liberar substâncias Alelopáticas capazes de interferir no crescimento de outras plantas.

Com isso foi possível inferir que o solo da área experimental poderia conter traços ou elevada concentração desses compostos, causando assim um toxicidade para vegetais e outros organismos.



**Figura 5.3** - Percentagem de Inibição para o organismo *Vibrio fischeri* em amostras de solo na camada de (0 - 0,20 metros) Líquido Intersticial.

Fonte: o autor, 2012



**Figura 5.4** - Percentagem de Inibição para o organismo *Vibrio fischeri* em amostras de solo na camada de (0 - 0,05 metros) Líquido Intersticial.

Fonte: o autor, 2012

Entretanto sendo o eucalipto uma planta produtora de compostos Alelopáticos, foram identificados esses compostos por meio de pesquisa bibliográfica, identificando os seguintes compostos no óleo essencial de eucalipto, Tabela 5.12.

**Tabela 5.12** - Comparativo das Percentagem dos compostos encontrados nas amostras de óleos essenciais de Citronela (*Cymbopogon nardus*) e Eucalipto (*Eucalyptus citrodora*)

Composto %	Citronela	Eucalipto
β-pineno	-----	0,83
1,8-Cineol	-----	1,44
Isopulegol	1,4	11,89
<b>Citronelal</b>	<b>36,53</b>	<b>61,78</b>
β-citronelol	13,1	5,9
(Z)-Cariofileno	-----	1,13
Geraniol	25,56	
Acetato de citronelil	2,22	
Acetato de geraniol	1,51	
Germacreno-D	0,69	
Delta cadileno	1,09	
Elemol	8,24	
Germecreno-D4-ol	1,64	

Fonte: OOTANI, 2010

Após a identificação do composto majoritário Citronelal nas essências de Citronela (*Cymbopogon nardus*) e Eucalipto (*Eucalyptus citrodora*), foi avaliado o potencial tóxico desse composto por meio do teste com *Vibrio fischeri* identificando a CE50 de (0,24%) em 15 minutos de exposição da amostra do óleo essencial de Citronela previamente diluído  $10^{-3}$ , demonstrando o elevado potencial tóxico do citronelal para a bactéria (*Vibrio fischeri*).

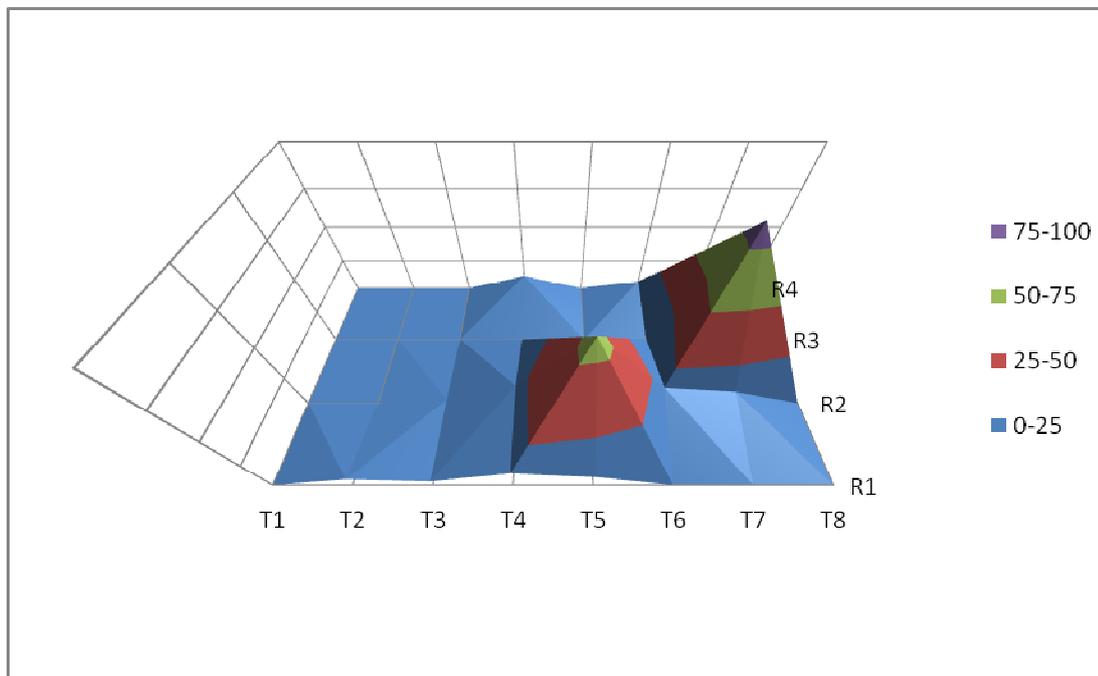
Os resultados obtidos nos ensaios de toxicidade do solo Figuras 5.3, 5.4 e 5.5 onde foram encontrados valores desuniformes para as diferentes camadas de solo, assim como entre os tratamentos, indicando possíveis problemas na irrigação ou a falta dela antecedendo a coleta destas amostras.

**Tabela 5.13** - Valores Orientadores Para Solo CONAMA 420 de 2009.

		<i>Solo (mg.kg-1 de peso seco)</i>																
Elemento	Prevenção	Agrícola	T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7		T8	
			A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
<b>1ª Amostragem (Agosto 2010)</b>																		
Boro	-	-																
Cobre	60,0	200,0	4,5	3,3	4,2	4,0	1,6	1,9	2,2	1,5	1,4	0,6	2,6	1,7	0,8	0,6	0,9	0,6
Ferro	-	-																
Manganês	-	-																
Zinco	300,0	450,0	27	29	26,8	25,8	10,6	9,1	12,4	7,5	15,2	1,5	6,2	5,1	1,9	0,7	3,2	1,1
<b>2ª Amostragem (Novembro 2011)</b>																		
Boro	-	-																
Cobre	60,0	200,0	4,1	3,0	6,4	3,2	2,1	1,9	2,4	2,1	1,1	0,9	1,8	1,7	1,1	0,8	0,9	0,7
Ferro	-	-																
Manganês	-	-																
Zinco	300,0	450,0	25	15	33,4	18,8	10,0	6,1	18,8	7,4	4,8	5,5	4,9	2,6	2,4	1,8	2,3	0,7

A - Profundidade 0 - 0,20; B - Profundidade 0,20 - 0,40

Fonte: CONAMA 420 de 2009.

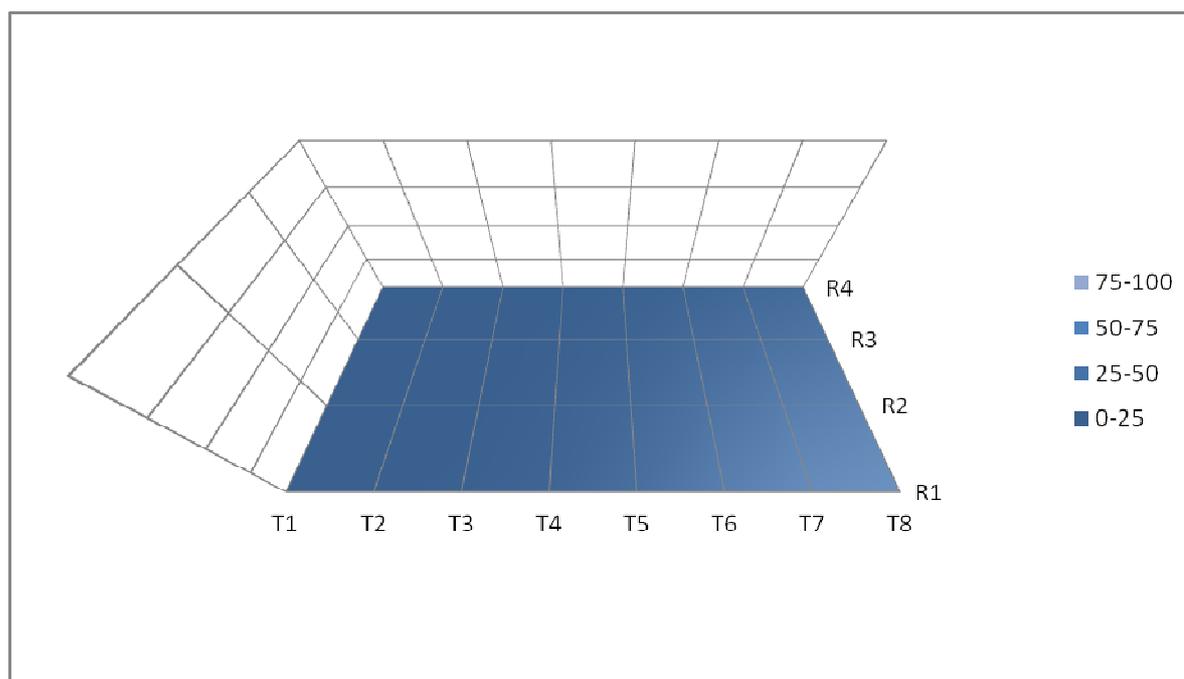


**Figura 5.5** - Percentagem de Inibição para o organismo *Vibrio fischeri* em amostras de solo na camada de (0 - 0,40 metros) Líquido Intersticial.

Fonte: o autor, 2012

### 5.7. Resultados Ecotoxicológicos das Amostras de Solo (Coleta Julho 2011)

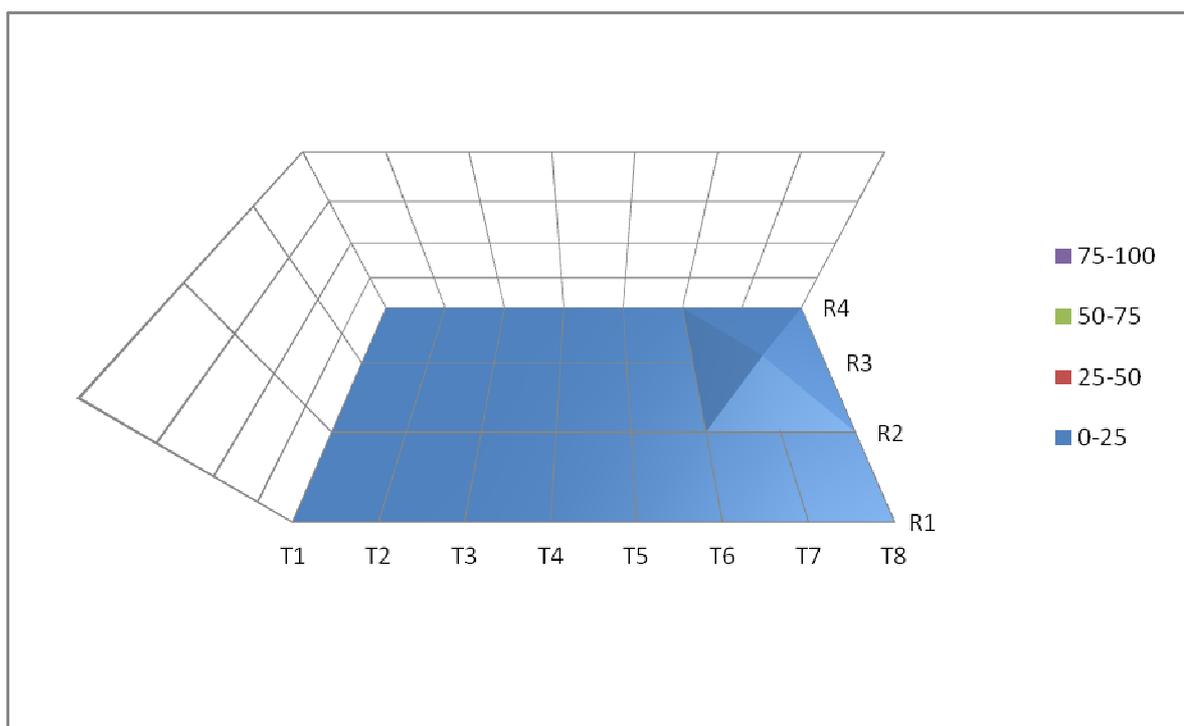
As amostras coletadas em julho de 2011, apresentaram um comportamento muito diferente em relação a primeira coleta realizada 1 ano antes. Os resultados da toxicidade obtidos com o teste em *Vibrio fischeri* apresentaram baixíssima ou nenhuma toxicidade, conforme pode ser observado na Figura 5.6.



**Figura 5.6** - Percentagem de Inibição para o organismo *Vibrio fischeri* em amostras de solo na camada de (0 - 0,05 metros) Líquido Intersticial.

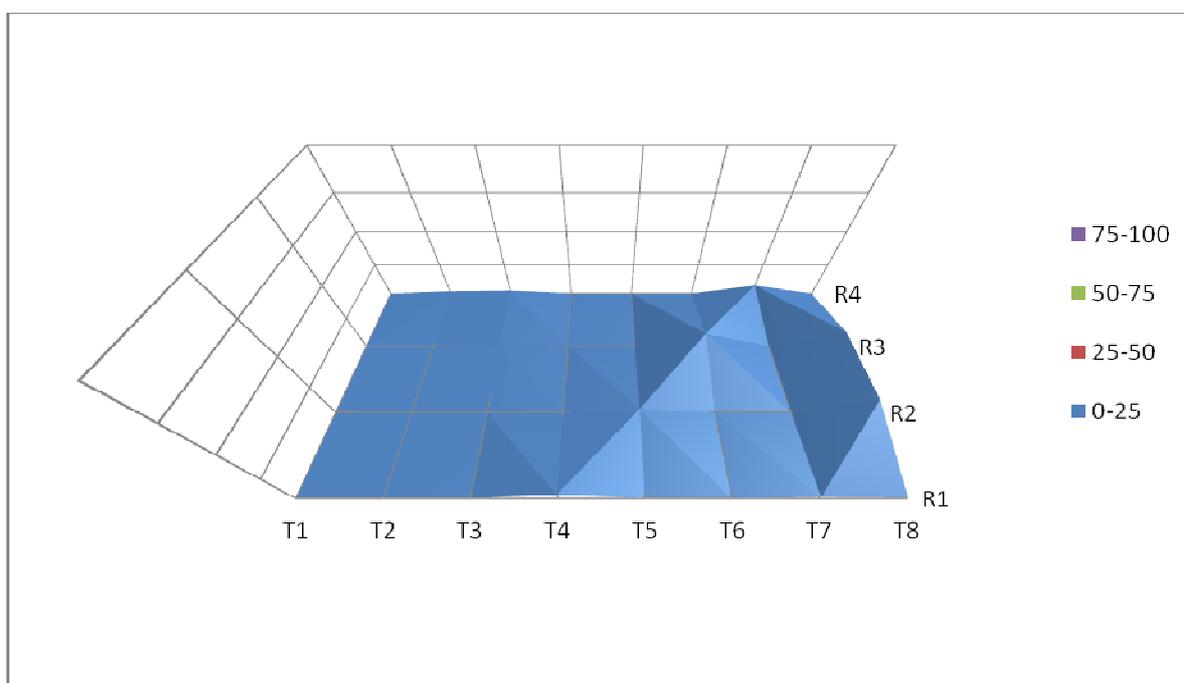
Fonte: o autor, 2012

Entretanto uma baixa toxicidade foi identificada no tratamento T8, tratamento testemunha, o qual não recebeu nenhuma aplicação de efluente, ou água da represa e também não recebeu adubação. Porém é possível que a ausência de irrigação nesse tratamento, pode não ter atenuado os efeitos dos compostos alelopáticos Figura 5.7. O que sustenta ainda mais essa hipótese é a prevalência do potencial tóxico na duas camadas subsequentes 0 - 0,20 metro e 0,20 - 0,40 metro com um sensível aumento desse efeito na última camada (Figura 5.8.)



**Figura 5.7** - Percentagem de Inibição para o organismo *Vibrio fischeri* em amostras de solo na camada de (0 - 0,20 metros) Líquido Intersticial.

Fonte: o autor, 2012



**Figura 5.8** - Percentagem de Inibição para o organismo *Vibrio fischeri* em amostras de solo na camada de (0 - 0,40 metros) Líquido Intersticial.

Fonte: o autor, 2012

## 6. CONCLUSÕES

Concluiu se nessa pesquisa que:

Os testes ecotoxicológicos com os organismos *Daphnia similis* e *Vibrio fischeri* demonstraram significativa importância para a avaliação de toxicidade no tratamento de esgoto doméstico tratados por lagoas facultativas, assim como a utilização do efluente tratado para aplicação na cultura de eucaliptos.

A pesquisa demonstrou também que a aplicação de efluente tratado contribuiu significativamente com o aporte de macro e micronutrientes na área plantada com eucalipto, sem que acarretasse significativa toxicidade nas diferentes camadas do solo, nos coletores de drenagem e principalmente nos poços de monitoramento.

Contudo, foi possível inferir que a baixa toxicidade presente nos tratamento possivelmente esta relacionada a presença de substâncias alelopáticas liberadas pelas árvores de eucaliptos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, 2009. Associação Brasileira de Normas técnicas. NBR12713. **Toxicidade aguda - Método de ensaio com *Daphnia spp*** (Crustacea, Cladocera). 21p. 2004.

ABNT, 2006. Associação Brasileira de Normas técnicas. NBR15411. **Ecotoxicologia Aquática - Determinação do Efeito Inibitório de amostras de água sobre a emissão de luz de *Vibrio fischeri* (Ensaio de bactéria luminescente) Parte 3: Método utilizando bactéria liofilizada**. Rio de Janeiro. 15p.

ABRAF - **Associação brasileira de produtores de florestas plantadas**, Anuário Estatístico da ABRAF 2012 – ano base 2011. Brasília, 2012. p. 24-26.

ABREU, S.A. & ZAIAT, M. Desempenho de reator anaeróbio – aeróbio de leito fixo no tratamento de esgoto sanitário. **Eng. Sanit. Amb.** v. 13, n.2, p. 181-188, 2008.

ANA - Agência Nacional de Águas. GEO Brasil - **Recursos Hídricos Componente da Série de Relatórios sobre o Estado e Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil**. Resumo Executivo. Brasília, 2007.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil Informe 2012**. Ed. Especial. Brasília, 2012.

ANDRADE, E. N. - 1961 - **O Eucalipto** Companhia Paulista de Estradas de Ferro. 2.a ed. Jundiaí,.p. 667, 1961.

ANDRADE NETO, C. O. **Filtro anaeróbio aplicado ao tratamento de esgoto sanitário**. 2004. 195 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.

APHA/AWWA/WEF. **Standard Methods of the Examination of water and wastewater**. 20th Edition. New York: American Public Health Association, 1998.

BASTOS, R. K. X.; MARA, D. D. **The bacterial quality of salad crops drip and furrow irrigated with wastes stabilizatipn pond effluent: an evaluation of the WHO guidelines**. v. 31, p.425-430, 1993.

BERTOLETTI, E.; 1990. **Toxicidade e Concentração de agentes tóxicos em efluentes industriais**. Revista Ciência e Cultura. 43 (3/4): p.271-277. 1990.

BRASIL - Ministério do Meio Ambiente - MMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA - Resolução nº 357 - **Define critérios procedimentos para uso agrícola de lodo de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e da outras providência**. De 29 de agosto de 2006. Diário Oficial da União, Brasília, 29 de agosto de 2006.

BRASIL - Ministério do Meio Ambiente - MMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA - Resolução nº 430/2011 - **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA**. De 13 de maio de 2011. Diário Oficial da União, Brasília, 16 de maio de 2011a, 8 p.

BULICH, A.A. **A practical and reliable method for monitoring the toxicity of aquatic**. Process Biochemistry. p. 45-47.1992.

BURATINI, S. V.; BERTOLETTI, E.; ZAGATTO, P. A.; Bull. Environ. Contam. Toxicol. 2004, 73, 878.

CETESB - BASSOI, L. J.; NIETO, R.NIETO, R.; TREMAROLI, D. **Implementação de testes de toxicidade no controle de efluentes líquidos**. São Paulo. CETESB. Série Manuais. 7 p. 1990.

CETESB. **Reúso de água**. Disponível em <[www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)>. Acesso em: 2 dez. 2010.

CETESB. **Reúso de água**. Disponível em <[www.cetesb.sp.gov.br](http://www.cetesb.sp.gov.br)>. Acesso em dezembro de 2011.

COSTA, C.R.; OLIVI, P.; **A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação**. Quím. Nova., vol.31, n.7, pp. 1820-1830, 2008.

COZZO, D. - 1955 - **Eucalyptus y eucaliptotecnia**. Buenos Aires, El Ateneo. 393 p.

ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARWOOD, C.; VAN WYK, G. **Eucalypt domestication and breeding**. New York: Calendron Press; Oxford University Press, 1994. 287p.

EMBRAPA - Técnico da EMBRAPA Hortaliças, Brasília, 1998, 7p

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

FAO. **El eucalipto em la repoblacion forestal**. Roma, 1981. 723p.

FAO. **O dilema do eucalipto**. Roma: FAO 1989. 26 p.

FLORENCE, R.G. (1986) **Cultural problems of Eucalyptus as exotics**. Commonwealth Forestry Review 65:141-162.

FORBES, E.A.; POSNER, A.M. & QUIRK, J.P. **The specific adsorption of divalent Cd, Co, Cu, Pb, and Zn on goethite**. Journal of Soil Science, London, 27:154-166,1976.

GHERARDI-GOLDSTEIN, E.; BERTOLETTI, E.; ZAGATTO, P. A.; ARAÚJO, R. P. A.; RAMOS, M. L. L. C.; **Procedimentos para Utilização de Testes de Toxicidade no Controle de Efluentes Líquidos**, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB): São Paulo, 1990.

GRAU, F.H. **Campylobacter jejuni/coli**. In **Foodborne Microorganisms of Public Health Significance**. 4th edn ed. Buckle, K.A. pp. 136–151. AIFST (NSW Branch) Food Microbiology Group, 1991.

GOLFARI, L. **Fantasia e realidades sobre plantios de eucalipto**. In: ARACRUZ. O eucalipto e a ecologia. Aracruz: ARACRUZ, 1975. cap. 3, p. 17-23.

JORDÃO, E. P. PESSOAL, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3. ed. Boca Raton, CRC Press, 2001. 413p.

KALBASI, M. & RACZ, G.J. **Association of zinc with oxides of iron and aluminum in some Manitoba soils**. Canadian Journal of Soil Science, Manitoba, 58:61- 68, 1978.

KAPLAN, J. **Research on irrigation and salt tolerance of Eucalyptus in Israel**. Silvicultura, São Paulo, v, 8, n. 32, p. 681-682, 1983.

KELLNER, E.; PIRES, E.C. **Lagoas de estabilização: projeto e operação**. Rio de Janeiro: ABES, 1998. v. 1.

KOCHIAN L. V. **Cellular mechanisms of aluminum resistance in plants**. Annual Review of Plant Physiology, v.46, p.237-260, 1995.

LIMA, W. de P. (1987) **O reflorestamento com eucalypto e seus impactos ambientais**. [Reforestation With the Eucalypt and its Environmental Impacts] Sao Paulo, Brazil, Artpress. 114 pp.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de Água**. São Paulo: Editora Manole, 2003. 576p.

Manual do IBAMA – parte D: **Avaliação da toxicidade de agentes químicos para microrganismos, microcrustáceos, peixes, algas, organismos do solo, aves, animais silvestres e plantas**. 1987.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, H. R. **Aspectos Sanitários da água para fins de irrigação**. Comunidade

MORA, A.L.; GARCIA, C.H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: SBS, 2000. p. 114.

NOGUEIRA, S. F. **Efeitos da Irrigação com esgoto tratado e fertilização nitrogenada na reciclagem de carbono e nitrogênio e no metabolismo microbiano de um solo cultivado com capim-Bermuda Tifton 85.** Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo - Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Piracicaba, 2008.

OLIVEIRA, A. F. de. **Enraizamento de estacas semilenhosas e cultura de embriões in vitro de oliveira (*Olea europaea L.*).** 2001. 122 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

OOTANI, M. A. **Potencial alelopático de óleos essenciais de eucalipto e de citronela,** In; Anais do XXVII Congresso Brasileiro da Ciência das Plantas Daninhas) - Ribeirão Preto – SP, 2010.

OKASAKI, M.; TAKAMIDOH, KK. & YAMANE, I. **Adsorption of heavy metal ations on hydrated oxides and oxides of iron and aluminum with different crystallinities.** Soil Science and Plant Nutrition, Tokio, 32:523-533, 1986.

PEREIRA, C.D.S.; ROTUNDO, M. M.; FURQUIM, L. G.; IANNUZZI, A.; FERRAZ, N.L.; SANTOS A.R. **Avaliação da toxicidade de águas superficiais e de fundo de uma área próxima à desembocadura do estuário de Santos.** In; Anais do IV Congresso Brasileiro de Pesquisas Ambientais e Saúde. 2004, Santos, SP.

PIERANGELI, M. A. P.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N.; SILVA, M. L. N.; OLIVEIRA, L. R.; LIMA, J.M. **Teor total e capacidade máxima de adsorção de chumbo em Latossolos brasileiros.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 279-288, 2001.

PRYOR, L. D. **Biology of Eucalyptus** The institute of Biology. Studies in Biology 61, London, Edward Arnold. 82 p. 1976.

RAMIREZ , D. B. **Uso de efluente de lagoa anaeróbia em cultura de eucaliptos: Avaliação da toxicidade da água percolada e da produtividade da cultura,** 2009.

117 f. ( Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

RAND, G. M.; Wells, P. G.; McCarty, L. S. Em **Fundamentals of Aquatic Toxicology: Effects, Environmental Fate, and Risk Assessment**; Rand, G. M., ed.; 2nd ed., Taylor & Francis: Washington, 1995, cap. 1.

RIBO, J. M.; Environ. Toxicol. Water Qual. 1997, 12, 283.

RIZVI, S.J.H.; RIZVI, V. **Exploration of allelochemicals in improving crop productivity**. In: RIZVI, S.J.H.; RIZVI, V. (Ed.). **Allelopathy: basic and applied aspects**. London: Chapman & Hall, 1992, p. 443-472.

RONCO, A.; BÁEZ, M. C. D.; GRANADOS, Y. P. Em **Ensayos Toxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de Aguas - Estandarización, Intercalibración, Resultados y Aplicaciones**; Morales, G. C., ed.; Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo: Ottawa, 2004, cap. 1.

RUBINGER, C. F. **Seleção de métodos biológicos para avaliação toxicológica de efluentes industriais**. 2009. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Universidade do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SILVA FILHO, P.A. **Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização**. 2007. 167 f . Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

STAPE, J.L.; ALVEZ, J.M.; TAKAHASHI, E.N.; FRANCISCATE, W.: JACOB, W.S. Impacts od **water, nutrient and dominance manipulation on the productivity of a clonal Eucalyptus plantation in a sandy oxisol in Brazil**: 30-manths results. In: BORRALHO, N. et al. **Eucalyptus in a changing word**. Aveiro: IUFRO, 2004. p. 340-341.

STEFANUTTI, R.; PIRES, M.S.G.; CORAUCCI FILHO, B. ; NOUR, E.A.A; MARQUEZINI, I.S ; BROLEZE, S.T.;VIEIRA, D.B. **Coletor de drenagem livre para monitoração da qualidade da água percolada no solo após aplicação de lodo**

**de esgoto:** Modelo físico. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 29; Fortaleza, 2000.

TATARAZAKO, N.; ODA, S.; WATANABE, H.; MORITA, M.; IGUSHI, T.; Chemosphere 2003, 53, 827.

TEIXEIRA, D. **Estado de la información sobre madera para energia.** In: FAO. Estado de la información forestal em Brasil. Santiago: FAO, 2002. cap. 5, p. 76-95.

TRUHAUT, R. **Ecotoxicology: Objectives, Principles and Perspectives.** Ecotoxicology and Environmental Safety. New York, V.1, p. 151-173, 1977.

UMBUZEIRO, G. A. & RODRIGUES, P. F. **O teste de toxicidade com bactérias luminescentes e o controle da poluição.** Informativo técnico publicado pela CETESB. Pg. 2 – 5. Ano 4 – nº 007. 2004.

USEPA (ESTADOS UNIDOS). **Technical support document for water quality base toxics control.**, Washington, D.C.: USEPA, 1985

VIEIRA, J. R. G. **Avaliação da eficiência na remoção de fósforo em lagoas de estabilização em escala real no nordeste brasileiro.** 2003. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

VON SPERLING, M. **Lagoas de Estabilização.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. Volume 3, 2º Ed.. 2006.

ZAGATO, P.A. e BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia aquática – princípios e aplicações.** ZAGATTO e BERTOLETTI org. São Carlos: Rima; 2006.