



**UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO**  
**PRÓ-REITORIA DE ACADÊMICA**  
**COORDENAÇÃO GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS AMBIENTAIS**

**EDNALDO RAMOS DOS SANTOS**

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA E  
TOXICIDADE DO LODO DE ESGOTO DA ESTAÇÃO  
MANGUEIRA, PERNAMBUCO, BRASIL**

**Recife  
2009**

**EDNALDO RAMOS DOS SANTOS**

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA E  
TOXICIDADE DO LODO DE ESGOTO DA ESTAÇÃO  
MANGUEIRA, PERNAMBUCO, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento em Processos Ambientais Universidade Católica de Pernambuco como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em **Desenvolvimento de Processos Ambientais**.

Área de Concentração: Desenvolvimento em Processos Ambientais  
Linha de Pesquisa: Tecnologia e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dra. Kaoru Okada

Co-orientador: Prof. Dra. Galba Maria de Campos Takaki

**Recife  
2009**

S237c

Santos, Ednaldo Ramos dos

Caracterização química, microbiológica e toxicidade do lodo de esgoto da estação mangueira, Pernambuco, Brasil / Ednaldo Ramos dos Santos ; orientador Kaoru Okada ; co-orientador Galba Maria de Campos Takaki, 2009.

68 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica. Coordenação Geral de Pós-graduação. Curso de Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, 2009.

1. Esgotos - Pernambuco. 2. Lodo residual - Pernambuco.  
3. Metais pesados. 4. Microorganismos do solo. I. Título.

CDU 628.3

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA E TOXICIDADE DO LODO DE ESGOTO DA ESTAÇÃO MANGUEIRA, PERNAMBUCO, BRASIL**

**Ednaldo Ramos dos Santos**

**Examinadores:**

---

Profa.Dra. Kaoru Okada (Orientadora)  
Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP -PE

---

Prof. Dr. Carlos Alberto Alves da Silva  
Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP - PE

---

Prof. Dr. Ricardo Kenhji Shiosaki  
Faculdades de Integração do Sertão – FIS - PE.

Defendida em:

Coordenador(a)

***Homenagem Especial***

*Este trabalho dedico a vocês*

meu Pai, Oreste Sebastião dos Santos (*In memória*) e  
minha mãe Lindaura Ramos Barreto dos Santos,  
que sabiamente me educou e incentivou para esta conquista.

À minha esposa,  
Maria Cristiane dos Santos  
e aos meus filhos  
Vanessa, Mayra e Albertim,  
pela compreensão silenciosa e inocente nos momentos  
de ausência, para que eu pudesse realizar este sonho.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, pela realização deste grande sonho.

À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Kaoru Okada, pelos momentos de aprendizagem durante toda a orientação e amizade; à Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Galba Maria de Campos Takaki, pela sua ajuda, compreensão, competência e ética durante a co-orientação desse trabalho.

Aos professores e professoras do curso de Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, pela dedicação e palavras de incentivo no transcorrer de nossa convivência.

Aos colegas da 3<sup>a</sup> turma do Mestrado, pelos momentos de aprendizagem e descontração, especialmente, a Ubirajara Albuquerque do Nascimento.

Agradecimento especial à Doutoranda Marta Cristina Freitas da Silva e aluna de Iniciação Científica Glayce Kelly, pela colaboração durante todo período do desenvolvimento da pesquisa.

À Sônia Maria de Souza, secretária do Núcleo de Pesquisa em Ciências Ambientais – NPCIAMB – UNICAP, pela gentileza dispensada e aos técnicos: Salatiel Joaquim dos Santos, Severino Humberto de Almeida e a André Filipe, pela colaboração na parte experimental desta pesquisa.

Ao magnífico Reitor da Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP, Prof. Dr. Pe. Pedro Rubens Ferreira de Oliveira, por proporcionar as condições essenciais para a edificação do conhecimento e concretização deste trabalho.

Aos professores Dr. Elias Basile Tambourgi e Dr. Nelson Caballero, pela acolhida, orientação e auxílio durante o período em que estivemos em intercâmbio na Universidade Estadual de Campinas – UNICAP-SP.

Às instituições de fomento à pesquisa: CAPES, CNPq e FINEP, pelo suporte financeiro para realização desta etapa acadêmica, em especial ao Programa de Cooperação Acadêmica – CAPES/PROCAD, por haver proporcionado o intercâmbio com a Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP-SP.

A todos os amigos que torceram por mim e que ajudaram nesta caminhada com palavras de conforto e incentivo.

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b>	vi
<b>SUMÁRIO</b>	vii
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	ix
<b>LISTA DE TABELAS</b>	x
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b>	xi
<b>RESUMO</b>	xiii
<b>ABSTRACT</b>	xv
<b>CAPÍTULO 1</b>	15
<b>1.1 Introdução</b>	15
<b>1.2 Objetivos</b>	17
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b>	17
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b>	17
<b>1.3 Revisão de Literatura</b>	18
<b>1.3.1 Lodo de Esgoto: considerações gerais</b>	18
<b>1.3.2 Origem do Lodo de Esgoto</b>	19
<b>1.3.3 Composição Química do Lodo</b>	19
<b>1.3.4 Processo de Tratamento do Lodo de Esgoto</b>	22
<b>1.3.5 Gerenciamento de Lodo no Brasil</b>	23
<b>1.3.6 Metais Pesados no Lodo de Esgoto</b>	24
<b>1.3.7 Compostos Fenólicos</b>	25
<b>1.3.8 Compostos Fenólicos na Degradação da População Microbiana</b>	26
<b>1.3.9 Biodegradação de Compostos Fenólicos por Fungos Filamentosos</b>	27
<b>1.3.10 Efeito do Lodo na População Microbiana do Solo</b>	28
<b>1.3.11 Ensaio de Toxicidade do Lodo de Esgoto</b>	29
<b>1.3.12 Estudo Bacteriológico do Lodo de Esgoto</b>	30
<b>1.4 Referências Bibliográficas</b>	32
<b>CAPÍTULO 2</b>	39
<b>CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA, FENÓIS TOTAIS, METAIS PESADOS E DO LODO DE ESGOTO DA ESTAÇÃO MANGUEIRA, PERNAMBUCO, BRASIL</b>	39
2.1 Resumo	39



2.2 Abstract	40
2.3 Introdução	40
2.4 Materiais e Métodos	42
2.5 Resultados e Discussão	46
2.6 Conclusões	50
2.7 Referências	50
<b>CONCLUSÕES GERAIS</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>56</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.3.3.1	Composição do esgoto doméstico	20
Figura 1.3.7.1	Estrutura química do fenol	25
Anexos		
Figura 1	Características microscópicas dos fungos filamentosos isolados do lodo de esgoto da Estação Mangueira, Pernambuco, Brasil (aumento de 400x)	62
Figura 2	Percentual de toxicidade do lodo com <i>A. salina</i>	63
Figura 3	Eclosão da <i>Artemia salina</i> em NaCl a 37%, por 24 h a temperatura de 37°C	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.3.3.1	Características químicas de três lotes de lodo de esgotos das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca (LF) e de Barueri (LB), localizadas no Estado de São Paulo	21
Tabela 1.3.3.2	Valores típicos de parâmetros de carga orgânica (mg/l) no esgoto sanitário	22
Tabela 1.3.1.1	Composição média do lodo gerado nas ETEs no Brasil	24
Tabela 1.3.12.1	Dados bacteriológicos do lodo de esgoto de origem doméstica do Estado de São Paulo	30
Tabela 1.3.12.2	Tempo de sobrevivência de alguns patógenos no solo	31
Anexos		
Tabela 1	Identificação das colônias e formação do halo (Reação de Bavendamm)	57
Tabela 2	Valores encontrados na análise de determinação de carbono Orgânico total três amostras do lodo de esgoto seco	58
Tabela 3	Teor de metais encontrados no Lodo de Esgoto e seus respectivos limites de concentração para uso agrícola segundo CONAMA Resolução nº 375/ 2006.	59
Tabela 4	Resultado das análises de fenóis totais do lodo do lodo de esgoto	60
Tabela 5	Percentual de toxicidade das amostras de lodo de esgoto com <i>Artemia salina</i> .	61

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABES	-	Associação brasileira de engenharia sanitária
Ag	-	Prata
Al	-	Alumínio
As	-	Arsênio
B	-	Boro
Ba	-	Bário
BDA	-	Batata-dextrose-ágar
Ca	-	Cálcio
CAPES	-	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAPES-PROCAD	-	Programa de Cooperação Acadêmica
Cd	-	Cádmio
CETESB	-	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
Co	-	Cobalto
CONAMA	-	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	-	Carbono Orgânico Total
Cr	-	Cromo
Cu	-	Cobre
EMBRAPA	-	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETE	-	Estação de Tratamento de Esgoto
EUA	-	Estados Unidos da América
F	-	Fraca
Fe	-	Ferro
FIUC	-	Federação das Universidades Católicas
Hg	-	Mercúrio
I	-	Intensa
ICSU	-	Committee of the International Council of Scientific Unions
LB	-	Estações de Tratamento de Barueri
LC	-	Concentração letal
LE	-	Lodo de esgoto
LF	-	Estações de Tratamento de Esgoto de Franca
M	-	Moderada

MAG	-	Meio ácido gálico
Mg	-	Magnésio
Mn	-	Manganês
Mo	-	Molibdênio
Ni	-	Níquel
NMP	-	Método do número mais provável
NP	-	Nonilfenol
NPCIAMB	-	Núcleo de Pesquisas em Ciências Ambientais
NPCIAMB-UCP	-	Núcleo de Pesquisas em Ciências Ambientais da UNICAP
NPEOs	-	Nonilfenol polietoxilados
OH	-	Hidroxila
Pb	-	Chumbo
pH	-	Potencial Hidrogeniônico
SANEPAR	-	Companhia de Saneamento do Paraná
Se	-	Selênio
Sn	-	Estanho
UASB	-	“Upflow Anaerobic Sludge Blanket”
UFC	-	Unidades Formadoras de Colônias
UNICAP	-	Universidade Católica de Pernambuco
Zn	-	Zinco

## RESUMO

A disposição final adequada de lodo de esgoto gerado nas estações de tratamento de esgoto vem sendo um desafio para os processos ambientais, químicos e econômicos. O objetivo do presente trabalho foi realizar a caracterização química, quanto ao teor de fenol e carbono totais, metais pesados, como também a presença de bactérias e fungos filamentosos em lodo de esgoto da Estação Mangueira, Pernambuco, Brasil. Além disso, investigou-se a produção da enzima polifenoxidase como um atributo importante para remoção de compostos fenólicos no solo, como também a toxicidade do lodo perante *Artemia salina*. Os resultados obtidos com a caracterização microbiológica indicaram a presença de coliformes totais e ausência de coliformes fecais. Quanto aos fungos filamentosos isolados, observou-se a presença de *Penicillium sp*, *Chrysosporium sp*, *Scedosporium sp*, *Monotospora sp* e *Aspergillus sp*. As análises realizadas com as 24 culturas dos fungos filamentosos indicaram que sete linhagens de *Chrysosporium sp*, duas de *Scedosporium sp*, uma de *Monotospora sp* e uma de *Penicillium sp* foram produtoras da enzima fenoxidase, sendo, portanto, capazes de degradar compostos fenólicos. A caracterização química do lodo de esgoto indicou um teor de carbono total de 14,7833 mg/100mg de lodo, enquanto os fenóis totais apresentaram o valor de 0,198 mg/L, demonstrando que ambos os componentes químicos apresentaram baixa concentração. Os metais pesados observados no lodo foram os seguintes: Ca, Mg, Al, Zn, Cu, Ni, Cd, Fe e Cr, demonstrando que os teores são compatíveis com a legislação do Conama Resolução nº 375/2006, com exceção do Mn. Os testes de toxicidade realizados com o lodo de esgoto seco, utilizando o bioensaio com *Artemia salina*, mostraram que, uma vez o lodo atingindo os corpos d'água, a concentração letal é de 32,44%. Portanto, os estudos realizados com o lodo de esgoto da Estação Mangueira indicaram que a grande maioria dos metais não apresenta características poluidoras dos solos quando o esgoto é empregado na agricultura, podendo ser uma alternativa economicamente viável e ambientalmente segura uma vez tratado adequadamente.

**Palavras-Chave:** Lodo de esgoto, fenóis totais, metais pesados, microrganismos.

## ABSTRACT

The final disposal of sewage sludge generated in sewage treatment plants has been a challenge for environmental, chemical and economical processes. The aim of this work was the chemical characterization for the content of total phenol and carbon, heavy metals, as well as the presence of filamentous bacteria and fungi in sewage sludge at the station of Mangueira, Pernambuco, Brazil. Furthermore, investigated the production of proliphenoxidase as an important attribute for the removal of phenolic compounds in soil, as well as the toxicity of the sludge with *Artemia salina*. The results obtained with microbiological characterization indicated the presence of total coliforms and the absence of fecal coliforms. In relation to isolated filamentous fungi, we observed the presence of *Penicillium sp.*, *Chrysosporium sp.*, *Scedosporium sp.*, *Monotospora sp.* and *Aspergillus sp.* Analyses performed with the 24 filamentous fungi cultures indicated that seven strains of *Chrysosporium sp.*, two of *Scedosporium sp.*, one of *Monotospora sp.* and one of *Penicillium sp.* were producing phenoloxidase enzyme and, thus, they were capable of degrading phenolic compounds. The chemical characterization of sewage sludge indicated a total carbon content of sludge 14.7833mg/100mg, while total phenols showed the value of 0.198 mg/L, demonstrating that both chemical components showed a low concentration. The heavy metals found in the sludge were as follows: Ca, Mg, Al, Zn, Cu, Ni, Cd, Fe and Cr, demonstrating that the levels are consistent with the law of CONAMA, Resolution No. 375/2006, except for Mn. The toxicity tests performed with the dried sewage sludge, using the *Artemia salina* bioassay, showed that, once the sludge reaching water bodies, the lethal concentration was 32.44%. Therefore, studies with sewage sludge of the station Mangueira indicated that the majority of metals does not have characteristics of metals polluting the soil when sewage is used in agriculture. Thus, it can be an economically viable and environmentally safe, once treated properly.

**Keywords:** Sewage sludge, total phenols, heavy metals, microorganisms

## CAPÍTULO 1

### 1.1 Introdução

A intervenção humana no meio ambiente pode gerar impactos negativos, que atualmente constituem uma das grandes preocupações mundiais. Nos últimos anos o aumento da quantidade de efluentes liberados das residências tem gerado nas estações de tratamento de esgoto (ETE) uma grande quantidade de lodo. Com essa prática diminuiu-se a carga de poluentes nos rios, mas criou-se um problema, que é a destinação final do lodo. Entre as opções de aproveitamento, a aplicação como fertilizante em solo agrícola é uma alternativa viável. Entretanto, o uso do lodo como adubo necessita de cautela em virtude da presença de substâncias xenobióticas, que podem limitar a sua utilização no solo. Entre as substâncias xenobióticas podem ser encontrados compostos fenólicos, metais pesados e surfactantes químicos originados do petróleo, os quais, quando utilizados em grande escala nas indústrias, podem causar grandes prejuízos à microbiota do solo (TAKAMATSU, 1995; CONCEIÇÃO, 2005).

Os compostos fenólicos são usados como intermediários ou como aditivos para produção de detergentes e emulsificante (CORVINI, 2006). Estudos comprovaram que os compostos fenólicos são grandes poluentes de lodo de esgoto e atuam na degradação das populações microbianas, demonstrando os efeitos desfavoráveis em função do tempo do produto, sugerindo que os efeitos dos compostos fenólicos do lodo de esgoto no solo junto aos fungos dependem das propriedades físico-químicas do lodo (KOLLMANN et al., 2003).

Entre os compostos químicos presentes no lodo, os fenóis apresentam grande toxicidade e são dificilmente degradados ou reciclados. Eles estão presentes, em diferentes concentrações, em efluentes domésticos industriais, farmacêuticos, resinas de papel, têxteis, em efluentes de fundição de metais e refinarias de petróleo. Muitas substâncias consideradas prejudiciais, como os fenóis, podem ter a toxicidade diminuída ou eliminada pela ação de microrganismos adaptados. A potencialidade de se empregar fungos para o tratamento de substâncias persistentes está relacionada à produção de enzimas extracelulares, cujas ações tornam os organoclorados mais acessíveis à biodegradação. Além disso, os fungos são organismos capazes de suportar mudanças bruscas no meio ambiente, facilitando a sua aplicabilidade. Condições ambientais como temperatura, pH,



oxigênio, salinidade, entre outras, podem favorecer ou reprimir o processo de degradação. Áreas contaminadas por fenóis e outros hidrocarbonetos aromáticos costumam apresentar fungos, que agem na sua degradação, como *Phanerochaete chrysosporium* e *Penicillium sp* (SILVA et al., 2007).

A presença de microrganismos patogênicos e de metais pesados constitui uns dos principais problemas para o uso do lodo de esgoto na agricultura. De maneira geral, os teores de metais pesados no lodo são extremamente altos quando comparados às concentrações naturalmente encontradas nos solos. Sendo assim, o acúmulo de metais pesados em solos acrescidos de lodo de esgoto pode causar severos danos à biota e à saúde humana. A absorção e/ou acumulação de metais pelas plantas favorece a inserção dos contaminantes na cadeia trófica, poluindo os ecossistemas. A transposição de contaminantes para a flora pode inviabilizar o consumo humano dos vegetais cultivados e a inserção de microrganismos patogênicos no ambiente pode modificar a atividade microbiana do solo, bem como causar sérios efeitos negativos à saúde humana. Além disso, a lixiviação química dos solos, promovida pela ação da água pluvial, pode disseminar a contaminação para aquíferos e sistemas fluviais vizinhos, alterando o funcionamento ótimo destes ecossistemas (BORGES, 2004; RANGEL et al., 2006; YALLOUZ et al., 2008).

A utilização de microrganismos nativos ou introduzidos em ambientes contaminados foi realizada com sucesso. Entretanto, nem sempre a quantidade de microrganismos responsáveis para os processos de biorremediação é suficiente para que o processo aconteça. Uma das soluções para esse problema é procurar no ambiente microrganismos que possuam os dispositivos metabólicos apropriados para mineralizar e iniciar a degradação ou diminuir os efeitos tóxicos de determinados compostos (SILVA et al., 2007).

As respostas dos organismos vivos a diferentes tipos de estresse têm sido utilizadas para avaliar a qualidade do meio em que vivem. O termo ecotoxicologia foi sugerido pela primeira vez em junho de 1969, durante uma reunião do Committee of the International Council of Scientific Unions (ICSU), em Estocolmo, pelo toxicologista francês René Truhaut. Ecotoxicologia é definida como a ciência que estuda os efeitos das substâncias naturais ou sintéticas sobre os organismos vivos, populações e comunidades, animais ou vegetais, terrestres ou aquáticos, que constituem a biosfera, incluindo assim a interação das substâncias com o meio no qual os organismos vivem num contexto integrado. Portanto, esse teste tem como objetivo estudar os fenômenos da intoxicação ambiental com a finalidade de impedir e prevenir determinada intoxicação ou interromper, modificar e remediar com um determinado método (MAGHALHÃES, 2008). Neste contexto, foi realizada a caracterização química, microbiológica e a toxicidade do lodo de esgoto da Estação

Mangueira, PE, Brasil, visando contribuir para maiores esclarecimentos do uso do lodo de esgoto, considerando o seu potencial biotecnológico para a agricultura.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Investigar, no lodo de esgoto, conteúdos de carbono total, compostos fenólicos, metais pesados, toxicidade, microbiota, especialmente em função dos fungos filamentosos com habilidade de degradar substâncias aromáticas, com a finalidade de contribuir para maiores esclarecimentos do uso do lodo de esgoto, considerando o seu potencial biotecnológico para a agricultura.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Analisar carbono total, compostos fenólicos e metais pesados presentes no lodo de esgoto.
- Isolar e identificar os principais grupos de fungos filamentosos presentes no lodo de esgoto produtores de polifenoloxidase.
- Realizar teste no lodo para verificação da presença de coliformes totais e fecais.
- Avaliar a toxicidade do lodo de esgoto através de bioensaio.

## 1.3 Revisão de Literatura

### 1.3.1 Lodo de Esgoto: considerações gerais

A crescente demanda da sociedade pela manutenção e melhoria das condições ambientais tem exigido das autoridades e das empresas públicas e privadas atividades capazes de compatibilizar o desenvolvimento com as limitações da exploração dos recursos naturais. Entre os recursos, os hídricos, que até a geração passada eram considerados fartos, tornaram-se limitados e comprometidos, em virtude da alta poluição em algumas regiões, necessitando, portanto, de rápida recuperação. Nessas condições, há uma necessidade emergente de tratar os esgotos urbanos, que são os principais poluidores dos mananciais hídricos (JONSSON, 2007).

Assim, pela própria forma como é originado, o lodo é o concentrador dos nutrientes, da matéria orgânica, dos metais pesados, dos organismos patogênicos e de outros elementos que podem oferecer risco ao meio ambiente e à saúde humana caso não sejam controlados e monitorados adequadamente. A disposição de esgotos na agricultura é uma prática antiga. As informações mais conhecidas são as originárias da China. No Ocidente, sabe-se que na Prússia a irrigação com efluentes de esgotos é praticada desde 1560. Na Inglaterra, por volta de 1800, foram desenvolvidos muitos projetos para a utilização agrícola dos efluentes de esgoto, especialmente em razão do combate à epidemia de cólera. Entretanto, a adoção da prática de uso de lodo no solo tem sido frequente em muitos países (SILVA, 2000; WANG, 2008).

No lodo de esgoto geralmente são encontrados os microrganismos (fungos, bactérias e protozoários) que são responsáveis pela degradação de matéria orgânica existente no esgoto. Esse lodo possui um alto potencial poluidor e deve ser disposto de forma ambientalmente correta (CEOLATO, 2007).

### 1.3.2 Origem do Lodo de Esgoto

O lodo de esgoto é o resíduo que se obtém após o tratamento das águas residuárias (esgotos), com a finalidade de torná-las o menos poluídas possível, de modo a permitir seu retorno ao ambiente sem que sejam agentes de poluição. A disposição sanitária ou a utilização deste subproduto é um dos mais importantes problemas associados ao projeto e ao gerenciamento das estações de tratamento de esgotos (FREITAS, 2005).

A quantidade de lodos produzidos tende a aumentar consideravelmente devido à criação de novas ETEs, com um conseqüente aumento na produção de lodo de esgoto, tendo em vista a ocorrência do crescimento dos grandes centros urbanos brasileiros e o desenvolvimento de regiões, além da expansão da consciência ecológica entre a sociedade brasileira (MELO, 2002).

O lodo é proveniente do tratamento primário (no qual os sólidos se separam do líquido por gravidade), do tratamento secundário (no qual os sólidos são separados após a ação biológica do tratamento) e do tratamento terciário ou avançado. Destes processos resulta uma lama líquida com um teor de sólidos da ordem de 2% a 5%, de conteúdo predominantemente orgânico (CHAGAS, 2000).

### 1.3.3 Composição Química do Lodo

O lodo de esgoto é o resultado do tratamento dos resíduos líquidos urbanos (domésticos, comerciais e industriais) encaminhados às ETEs através das redes coletoras. Durante o tratamento do esgoto, bactérias e fungos quebram as moléculas orgânicas que servem como fonte de energia para seu desenvolvimento, utilizando os nutrientes para crescerem e se reproduzirem. Quando esses microrganismos morrerem, vão constituir a massa orgânica do lodo. Existem vários sistemas de tratamento, que produzem lodos com características distintas (PEQUENO et al., 2008).

Segundo Berttiol (2005), a composição química do lodo de esgoto pode variar em função do local de origem (residências, indústrias), da época do ano e do sistema de tratamento empregado. A disposição inadequada dos resíduos sólidos gerados em atividades industriais, como rejeitos de mineração, subprodutos e descartes da indústria,

bem como o lodo proveniente do tratamento do esgoto domiciliar, urbana ou industrial, constitui um foco de contaminação da água, ar e solo, numa sobrecarga poluidora de caráter contínuo e muitas vezes irreversível.

A composição química do lodo de esgoto se apresenta como um possível fertilizante para uso na agricultura, devido à presença de matéria orgânica, melhorando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, e nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas. Porém o lodo de esgoto pode encerrar na sua composição componentes tóxicos aos vegetais e aos animais e que, portanto, não devem entrar na cadeia trófica (AKSU, 2005; SOUZA et al., 2006; AGUILERA et al., 2007).

Podemos observar na figura 1 a composição básica de esgoto doméstico. O lodo de esgoto apresenta uma composição muito variável, pois depende do processo de tratamento e do seu caráter sazonal. O lodo de esgoto doméstico possui na sua composição 99,9% de água e 0,1% de sólido, porém do total de sólido 70% é orgânico (proteínas, carboidrato, gordura, etc.) e 30% inorgânico (areia, sais, metais, etc.). A matéria orgânica presente no lodo melhora o estado de agregação das partículas do solo, diminuindo assim sua densidade e aumentando a sua aeração. Na tabela 2 estão as variações dos metais presentes na composição de lodos de esgoto gerados na ETE de municípios do Estado de São Paulo (JORDÃO, 1995; MELO, 2000; BARBOSA, 2006; MORILLO et al., 2008).

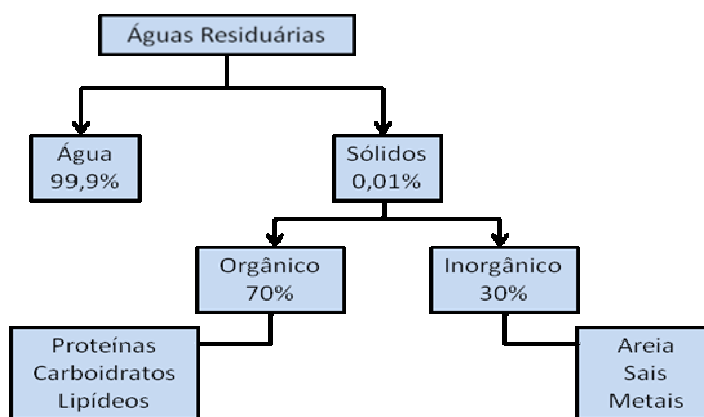


Figura 1.3.3.1. Composição do esgoto doméstico (MELO, 2000)

Tabela 1.3.3.1 Características químicas de três lotes de lodo de esgotos das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca (LF) e de Barueri (LB), localizadas no Estado de São Paulo

Atributo	U	Primeiro lote 03/99		Segundo lote (12/99)		Terceiro lote (09/00)	
		LB	LF	LB	LF	LB	LF
Fósforo		15,9	16,0	31,2	21,3	26,9	12,9
Potássio	g/kg	1,0	1,0	1,97	0,99	1,0	1,0
Sódio	g/kg	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,9
Arsênio	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cádmio	mg/kg	12,8	3,32	9,5	2,0	9,4	2,05
Chumbo	mg/kg	364,4	199,6	233	118	348,9	140,5
Cobre	mg/kg	1058	239,8	1046	359	953,0	240,9
Cromo total	mg/kg	823,8	633,8	1071	1325	1297,2	1230,3
Mercúrio	mg/kg	<0,01	<0,01	<1	<1	<0,01	<0,01
Molibdênio	mg/kg	<0,01	<0,01	<1	<1	<0,01	<0,01
Níquel	mg/kg	518,4	54,7	483	74	605,8	72,4
Selênio	mg/kg	<0,01	<0,01	<1	<1	<0,01	<1
Zinco	mg/kg	2821	1230	3335	1590	3372	1198
Boro	mg/kg	36,2	40,7	11,2	7,1	29,3	19,7
Carbono orgânico	g/kg	248,2	305,1	271	374	292,9	382,4
pH		6,6	6,3	6,4	6,4	6,4	5,4
Umidade	%	66,4	83	80,2	82,4	71,2	82,7
Sólidos Voláteis	%	43,0	60,5			56,8	72,5
Nitrogênio total	g/kg	21	56,4	49,7	67,5	42,1	68,2
Enxofre	g/kg	13,4	16,3	10,8	13,3	17,1	15,7
Manganês	mg/kg	429,5	349,3	335	267	418,9	232,5
Ferro	mg/kg	54.181	33.793	32,5	31,7	37.990	24.176
Magnésio	g/kg	3,0	2,2	3,7	2,5	4,5	2,2
Alumínio	mg/kg	28.781	32.564	25,3	33,5	23.283	23.317
Cálcio	g/kg	40,3	29,2	22,8	16,8	47,8	24,8

Fonte: Bettiol (2004) e Fernandes et al (2004).

A matéria inorgânica presente nos esgotos é formada, principalmente, pela presença de areia e de substâncias minerais dissolvidas. A areia é proveniente de águas de lavagem das ruas e de águas de subsolo, que chegam às galerias de modo indevido ou que se infiltram através das juntas das canalizações. Raramente os esgotos são tratados para remoção de constituintes inorgânicos, salvo e à exceção de alguns despejos industriais. Na tabela 3 encontra-se a carga orgânica (mg/l) comum no esgoto sanitário (JORDÃO, 1995; ABREU, 1997).

Tabela 1.3.3.2. Valores típicos de parâmetros de carga orgânica (mg/l) no esgoto sanitário

Parâmetros	Condições do Esgoto		
	Forte	Médio	Fraco
DBO <sub>5</sub> (20°C)	300	200	100
Nitrogênio total	85	40	20
Nitrogênio orgânico	35	20	10
Amônia livre	50	20	10
Nitrito, NO <sub>2</sub>	0,10	0,05	0
Nitratos, NO <sub>3</sub>	0,40	0,20	0,10
Fósforo total	20	10	5
Orgânico	7	4	2
Inorgânico	13	6	3

Fonte: Jordão (1995).

### 1.3.4 Processo de Tratamento do Lodo de Esgoto

No processo de tratamento do lodo, ocorre a separação das frações sólidas e líquidas. A fração sólida, que encerra na sua composição componentes orgânicos e inorgânicos, é submetida a um processo de digestão e desidratação. Parte da fração mineral e da fração orgânica, aquela solúvel em água, permanece na fração líquida, enquanto a areia, os sais e a fração orgânica, insolúveis em água, permanecem na fração sólida. Na fração orgânica podem-se encontrar carboidratos, proteínas e lipídeos, que constituem fonte de carbono e de energia para os organismos heterotróficos, cujo metabolismo conduz à liberação de gás carbônico, fosfatos, nitratos e outros íons (MELO, 2000).

A maioria das ETEs faz uso de processos biológicos, cujos objetivos são coagular e remover coloides não sedimentáveis e degradá-los parcialmente ou estabilizá-los. A matéria orgânica remanescente no esgoto após o tratamento é transformada por meio do metabolismo celular. Melo (2000) afirma que nos sistemas convencionais de tratamento o esgoto passa por um decantador primário, seguido de tanque de aeração e decantador secundário, onde há geração de lodo primário, constituído por material de sedimentação altamente instável, e de lodo secundário, também denominado lodo ativado, que é instável e necessita passar por processos suplementares de estabilização. No Brasil, as tecnologias mais recentes desenvolvidas fazem uso de reatores anaeróbios de fluxo ascendente do tipo Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), que retêm o lodo dentro do reator por três meses em média, realizando assim a sua estabilização (FERNANDES, 2000; MIKI et al., 2001; SOBRINHO, 2001).

Portanto, basicamente existem três tipos de lodos provenientes do tratamento de esgotos: primário, ativado e digerido, cada um destes com características e propriedades distintas. O lodo bruto é produzido nos decantadores primários das ETEs, apresentando coloração acinzentada, aspecto pegajoso e odor desagradável, sendo facilmente fermentável. O lodo ativado é produzido nos reatores biológicos de ETEs que utilizam processos biológicos para o tratamento dos efluentes. Tem aparência floculenta, coloração marrom e leve odor desagradável quando mantido em condições aeróbias. Chama-se lodo digerido a qualquer lodo que tenha sofrido processo de estabilização biológica. O lodo digerido anaerobiamente tem coloração preta, enquanto o lodo digerido aerobiamente apresenta coloração marrom. O lodo estabilizado não possui odor que possa ser desagradável (LUDUVICE, 2000).

### **1.3.5 Gerenciamento de Lodo no Brasil**

Durante algumas décadas, o setor de saneamento no Brasil tem enfrentado grandes dificuldades com respeito aos resíduos provenientes de efluente sanitário. Com a expansão dos sistemas de distribuição de água e de coleta e tratamento de esgoto, grandes volumes de resíduos de alta complexidade têm sido produzidos, resultando assim em sérios problemas de gestão e disposição final. Entre os resíduos de saneamento, o lodo das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) representa, sem dúvida, um dos pontos potencialmente críticos, cujo gerenciamento demanda, muitas vezes, ações de difícil execução. Entretanto, no Brasil essa questão tem sido bastante negligenciada, resultando em atos de responsabilidade ambiental suscetíveis de processos legais promovidos por órgãos de controle ambiental. As dificuldades se iniciam, não raro, na concepção do sistema de tratamento, cujo projeto, muitas vezes, ignora o gerenciamento do lodo gerado (PEGORINI, 2006).

Para caracterização do lodo, a tabela 4 apresenta a composição química do lodo no Brasil (MACHADO, 2001).



Tabela 1.3.5.1. Composição média do lodo gerado nas ETEs no Brasil

<b>Parâmetros</b>	<b>Valor Médio no Brasil (1)</b>
pH	11,6
Material seco, MS (%)	57,86
Nitrogênio total, N (%)	1,07
Carbono total, C (%)	12,56
Relação C/N	13,32
Fósforo total, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0,26
Potássio, K <sub>2</sub> O (%)	0,16
Cálcio total, CaO (%)	19,85
Magnésio total, MgO (%)	3,17
Cádmio (mg/kg MS)	0,57
Zinco (mg/kg MS)	28,99
Cobre (mg/kg MS)	73,73
Cromo (mg/kg MS)	28,11
Merúrio (mg/kg MS)	0,52
Níquel (mg/kg MS)	18,06
Zinco (mg/kg MS)	219,49
Coliformes fecais (NMP/100g)	< 4
Ovos de helmintos (NMP/g)	<0,02

Fonte adaptada: Machado (2001) (1) Tratamento aeróbio.

### 1.3.6 Metais Pesados no Lodo de Esgoto

O termo “metal pesado” é atribuído a elementos químicos que apresentam massa específica maior que  $5 \text{ g cm}^{-3}$  e que estejam associados a problemas de poluição. Nos solos tratados com lodo de esgoto, a mobilidade de metais pesados tem sido muito baixa. No entanto, a persistência da capacidade do solo em reter tais elementos vem sendo muito questionada. Em solos de regiões tropicais existem muitas dúvidas a respeito da mobilidade dos metais pesados, justificadas, em parte, pela carência de estudos de longo prazo (MARQUES et al., 2001; OLIVEIRA et al., 2002).

A composição do lodo de esgoto, em termos de metais pesados, varia com o nível socioeconômico e cultural da população, o grau de industrialização da região e o porcentual que os esgotos industriais representam do total de esgotos gerados e tratados (TSUTIYA, 2001). Para regular o nível dos metais, adotam-se normas regulamentadoras que fixam os limites dos metais pesados (EPA, 1993; CETESB, 1999). Quando da utilização do lodo de esgoto em solos cultivados, como fertilizantes ou condicionadores de solo, existe a

possibilidade de esses elementos, em suas formas mais perigosas, serem absorvidos pelas plantas (BERTON, 2000) e acumulados em tecidos que poderiam servir de alimentos para animais e humanos (MARQUES et al., 2001). Assim, esses elementos entrariam na cadeia alimentar, possibilitando a ocorrência de danos aos animais que delas se alimentem (ARCURI e FERNICOLA, 2003). De acordo com Pires (2003), nos lodos de esgotos os metais apresentam-se em diferentes formas, estando predominantemente ligados à fração sólida do resíduo, como, por exemplo, óxidos e matéria orgânica. Portanto, vários estudos têm sido conduzidos para investigar o comportamento dos metais pesados contidos no lodo de esgoto e determinar os seus efeitos nas culturas agrícolas (ANDREOLI et al., 2003).

### 1.3.7 Compostos Fenólicos

Os fenóis ou benzenóis são compostos orgânicos que apresentam o grupo hidroxila ligados de forma direta a um carbono do núcleo benzênico, conforme a figura 2.

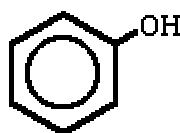


Figura 1.3.7.1. Estrutura química do fenol

O grupo OH também é denominado hidróxi, por isso os fenóis são chamados de hidroxibenzenos e, devido à capacidade de reagirem com bases, recebem a denominação de ácidos fênicos. Os compostos fenólicos são solúveis em água, sólidos, incolores, apresentam caráter ácido e são tóxicos. Essa característica ácida é devido à presença do hidrogênio na hidroxila. O grupo se desprende por ionização quando entra em contato com a água e torna a solução mais ácida. Os fenóis são muito usados na indústria, na fabricação de detergentes, perfumes, resinas, vernizes, tintas, adesivos, cosméticos, corantes e explosivos. Por serem solúveis em água e altamente móveis, podem atingir com rapidez as fontes de água, causando problemas de toxicidade para espécies aquáticas, bem como gosto e odor desagradáveis em águas de abastecimento público, mesmo quando presentes em baixas concentrações (JIANG et al., 2002).

Nas últimas décadas, uma maior atenção tem sido dada à presença de fenóis e seus derivados no meio ambiente, devido às elevadas concentrações encontradas em despejos de diferentes origens, sua natureza tóxica e seus efeitos adversos em corpos hídricos receptores (SARKAR, 2006; GABRIEL et al., 2005).

Estes compostos estão presentes em águas residuárias originadas de processos industriais, incluindo refinaria de óleos, usinas petroquímicas, fábricas de cerâmica, aciarias, processos de conversão de carvão, indústrias de resinas fenólicas e indústrias farmacêuticas (SANTOS, 2004); e naquelas oriundas de processos agroindustriais, tais como as águas da lavagem e descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro (LUIZ et al., 2004; BRUNO, 2007).

Diante da necessidade cada vez maior de preservação dos recursos naturais, torna-se essencial o desenvolvimento de sistemas de tratamento que sejam satisfatórios, sob o ponto de vista técnico e operacional, e que proporcionem eficientes remoções desses poluentes das águas residuárias (PIETRO et al., 2002).

Nas águas residuárias, podem ser encontrados os compostos fenólicos do tipo nonilfenol polietoxilados (NPEOs), que são surfactantes tensoativos monoiônicos sintéticos, pertencentes ao grupo de alquilfenol etoxilatos. Os NPEOs são misturas de forma isomérica, com diferentes comprimentos de cadeia etoxílica com grupo ramificação nonil. Devido a estas características, NPEOs não são compostos facilmente biodegradáveis, podendo se acumular nos sedimentos aquáticos, onde podem exercer efeitos tóxicos para os animais e as plantas. São compostos de cadeia carbônica curta. Os NPEOs e o nonilfenol (NP) têm sido incluídos entre os xenoestrogênios. Apesar de sua conhecida toxicidade, NPEOs ainda são utilizados, notadamente em alguns setores como têxtil, couro e fábricas de papel, devido ao seu baixo custo, pelo fato de ser um excelente detergente com propriedade de solubilização (FYTIANOS, 1997; CORCIA et al., 2000a; CORCIA et al., 2002b; KOULOUMBOS, 2008).

### **1.3.8 Compostos Fenólicos na Degradação da População Microbiana**

Os compostos fenólicos são usados como agentes intermediários ou aditivos na produção de detergentes e emulsificantes. Esses compostos presentes no lodo de esgoto podem ser acumulados pela flora e fauna ou sofrerem degradação (CORVINI, 2006). Estudos demonstram que esses compostos são poluidores do lodo de esgoto e atuam na

degradação das populações microbianas, evidenciando os efeitos desfavoráveis em função da quantidade do produto, sugerindo que efeitos causados pelos compostos fenólicos do lodo dependem das propriedades físico-químicas dele (KOLLMANN et al., 2003). Entre os agentes químicos, podem estar os compostos fenólicos utilizados em grande escala nas indústrias de detergentes, podendo causar sérios problemas na microbiota do solo (TAKAMATSU, 1995; PETROVIC, 2000).

### 1.3.9 Biodegradação de Compostos Fenólicos por Fungos Filamentosos

A biodegradação é um processo complexo que envolve grande número e variedade de microrganismos. A degradação de diferentes resíduos depende das condições locais, regionais, tipo de solo, vegetação, fauna e microrganismos decompositores. A diversidade bioquímica de substratos macromoleculares indica que os microrganismos devem possuir amplo aspecto de enzimas extracelulares para convertê-los em metabólitos considerados assimiláveis (TAUK, 1999; CHANG, 2005). Segundo Thawornchaisit (2007), o lodo de esgoto seco pode ser usado de forma significativa como sorbente para fenóis.

Devido à sua alta toxicidade, os compostos fenólicos são resistentes à biodegradação no meio ambiente. No entanto, estes compostos são tóxicos e recalcitrantes, podendo ser mineralizados e ter sua toxicidade diminuída por tratamentos biológicos adequadamente projetados e corretamente operados. Estudos indicam a possibilidade da biodegradação de compostos fenólicos do lodo de esgoto por fungos da classe basidiomycetes (*Phanerochaete chrysosporium*) (GESELL, 2001; MOREIRA NETO, 2006; ZHANG, 2008).

Segundo Moreno (2004), os fungos filamentosos podem ser aplicados em tratamento de descontaminação, pela sua capacidade de transformar uma grande variedade de compostos orgânicos, e oferecem um potencial indiscutível para sua utilização em processos de tratamento de contaminantes. Consequentemente, os fungos apresentam um sistema enzimático e um vigoroso crescimento, através do seu desenvolvimento micelial, permitindo colonizar diferentes tipos de substrato. Por outro lado, os fungos têm a capacidade de acumular metais pesados, como mercúrio e zinco. Os fungos basidiomicetos, que causam podridão branca em madeira, entre eles poliporáceas, incluem-se nas espécies como características adequadas para serem utilizados em diferentes processos tecnológicos, como a biodescontaminação. Eles possuem capacidade relevante de degradar

ligninas, um polímero polifenólico heterogêneo lignocelulósico (DURÁN, 2000; MORENO, 2004).

Considerando que os poluentes orgânicos podem ser degradados e removidos pelos microrganismos através de processos aeróbios ou anaeróbios, transformando-se em compostos menos tóxicos e de baixo peso molecular, como água e dióxido de carbono, entre estas alternativas os biotratamentos têm despontado com excelente desempenho. Na degradação biológica geralmente ocorre um sinergismo entre os membros da microbiota autóctone, com o favorecimento de determinadas espécies, por utilizarem compostos secundários como fonte de energia, decorrentes do metabolismo de outras espécies (SLATER, 2001).

Neste contexto, o biotratamento com fungos vem sendo muito utilizado, pois eles são importantes decompositores e desempenham papéis fundamentais nos ciclos do carbono, do nitrogênio e de outros ciclos presentes na biosfera e são capazes de produzir diversas enzimas que atuam sobre o poluente, tornando-o acessível à biodegradação (GRIFFIN, 2000).

### **1.3.10 Efeito do Lodo na População Microbiana do Solo**

O lodo de esgoto pode apresentar em sua composição elementos tóxicos e patogênicos ao homem, dependendo da sua origem. Dessa forma, há necessidade de se conhecer o efeito do lodo no solo quando utilizado na agricultura. Uma questão fundamental é a que diz respeito à presença de elementos químicos potencialmente tóxicos (BETTIOL et al., 2000; MELO et al., 2000).

Assim, a incorporação do lodo de esgoto nos solos agrícolas deve ser controlada e monitorada, visto que elementos como zinco, cobre, manganês, ferro e molibdênio, que são nutrientes essenciais para as plantas, em altas concentrações podem causar sérios problemas. O níquel, o cádmio e o chumbo geralmente aparecem em quantidades apreciáveis, especialmente se os lodos provêm de regiões industrializadas. Neste caso, há que se controlar e monitorar a aplicação, porque, em especial o zinco, o cobre, o níquel e o cádmio, se presentes em teores elevados, podem ser fitotóxicos e até, no caso do cádmio, ser altamente prejudiciais para os animais que se alimentam de plantas produzidas em solos que receberam esse lodo de esgoto (SANTOS, 2004; D'ANNIBALE, 2006; ERIKSSON et al., 2008).

Segundo Almeida (2006), o processo anaeróbio, seguido por desaguoamento em leitos de secagem, é insuficiente para reduzir os patógenos presentes no lodo de esgoto a níveis considerados seguros para uso agrícola. Faz-se necessária a utilização dos processos químicos e térmicos para possibilitar assim seu uso na agricultura.

### 1.3.11 Ensaio de Toxicidade do Lodo de Esgoto

Testes de toxicidade são ensaios laboratoriais, realizados sob condições experimentais específicas e controladas, utilizados para estimar os níveis de toxicidade das substâncias, efluentes industriais e amostras ambientais (águas e/ou sedimentos). Nesses ensaios, organismos-testes são expostos a diferentes concentrações de amostra e os efeitos tóxicos produzidos sobre eles são observados e quantificados. A avaliação da toxicidade é importante para verificar a poluição aquática, tendo em vista que testes físico-químicos não são capazes de detectar efeitos deletérios causados aos microrganismos existentes no meio aquático. Para estimar os efeitos danosos de substâncias tóxicas sobre o meio ambiente, são utilizados testes de toxicidade aguda como ferramenta confiável para estimar as concentrações de compostos que possam provocar efeitos maléficos sobre o organismo (COSTA et al., 2008).

Os testes de toxicidade possibilitam o efeito das substâncias tóxicas (ou efluentes ou esgotos) nas nossas condições climáticas, frente a organismos-padrão, exóticos ou não, desde que se aclimatem às condições físico-químicas da água utilizada para manutenção da cultura, a qual deve se aproximar ao máximo daquele da região em estudo (BARBIERI, 2002).

De acordo com Jonsson (2007), a aplicação de lodo de esgoto proveniente das estações de tratamento apresenta riscos adversos para a fauna aquática. O risco estaria relacionado à aplicação dele em regiões agrícolas próximas de compartimentos aquáticos, cujos efeitos se manifestariam a curto ou longo prazo em organismos zooplânctônicos e, conseqüentemente, em outros organismos da cadeia alimentar. Esse fenômeno estaria associado ao transporte do lodo para os referidos compartimentos, assim como de seus constituintes orgânicos ou inorgânicos com ação tóxica.

Testes de toxicidade com o microcrustáceo *Artemia salina* são realizados para detectar compostos bioativos em extratos vegetais e para expressar a toxicidade de extrato

com atividade moluscicida contra organismos não alvos, como peixes e pequenos crustáceos (RUIZ, 2005).

A *Artemia salina* é um microcrustáceo de baixo custo e que não exige condições rígidas de assepsia, apresentando boa correlação com alterações mitóticas em culturas de células, além de ser indicador de toxicidade geral no estudo de extratos com potencial atividade biológica (ZUQUE et al., 2004; ASSALIN, 2005).

### 1.3.12 Estudo Bacteriológico do Lodo de Esgoto

Os lodos de esgoto contêm patógenos humanos, como coliformes fecais, salmonela e helmintos, que são passíveis de serem eliminados durante o processamento de aplicação no solo. Entretanto, é muito importante o seu monitoramento tanto no lodo a ser utilizado na agricultura como no solo onde ele foi aplicado (SOCCOL, 2000).

A necessidade de realizar um estudo bacteriológico do lodo é de suma importância devido à presença de microrganismos patogênicos. Estes, uma vez dispostos no solo, podem contaminar animais de pequeno e grande porte que se alimentam de gramíneas. Enfim, adentram a cadeia alimentar do homem, sendo muito perigosos sob o ponto de vista da saúde pública (FERNANDES, 2000).

Na tabela 1.3.13.1 estão os dados bacteriológicas do lodo de esgoto de origem doméstica do Estado de São Paulo, aplicado de forma líquida no solo durante quatro anos, e seus respectivos valores máximo e mínimo de coliformes, salmonelas e helmintos.

Tabela 1.3.12.1 Dados bacteriológicos do lodo de esgoto de origem doméstica do Estado de São Paulo

	Coliforme Termotolerantes NMP gST <sup>-1</sup>	Coliformes Fecais NMP gST <sup>-1</sup>	Coliformes Totais NMP gST <sup>-1</sup>	Salmonelas UFC gST <sup>-1</sup>	Ovos de Helmintos ovo gST <sup>-1</sup>
Máximo	< 121	90 x 10 <sup>3</sup>	1.000 x 10 <sup>3</sup>	417	Ausente
Mínimo	< 82	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Fonte: Ceolato (2007).

A eliminação dos patógenos no lodo de esgoto é importante, uma vez que esses microrganismos podem apresentar tempos de sobrevivência relativamente elevados, conforme apresentado na tabela 1.3.13.2. De um modo geral, poucas bactérias intestinais

sobrevivem no solo, pois este não é um meio adequado. Já os parasitas encistados (helmintos e protozoários) e seus ovos são mais resistentes (SANEPAR, 1997).

Tabela 1.3.12.1. Tempo de sobrevivência de alguns patógenos no solo

<b>Organismo</b>	<b>Tempo de sobrevivência (dias)</b>
Coliformes totais	4 a 77
Coliformes fecais	4 a 55
<i>Streptococos fecais</i>	8 a mais de 70
<i>Leptospira</i>	Menos de 15
<i>Mycobacterium</i>	10 a 500
<i>Salmonella paratyphi</i>	mais de 259
<i>Salmonella typhi</i>	11 a mais de 280
<i>Streptococcus faecalis</i>	26 a 77

Fonte: Adaptado de Harrison et al. (1996).



## 1.4 Referências Bibliográficas

ALAM, M.Z; FAKHRUL-RAZI, A; ABD-AZIZ, S; MOLLA, A.H. Optimization of Compatible Mixed Cultures for Liquid State Bioconversion of Municipal Wastewater Sludge. **Water, air, and soil pollution**, v. 149, n. 1-4, p.113-126; 2003.

ABREU, M.F. **Extração e determinação simultânea por emissão em plasma de nutrientes e elementos tóxicos em amostras de interesse agrônômico**. Tese de doutorado pela Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 1997. p.135.

AGUILERA, S. M; GILDA, B; PEDRO,P; RODIRGUES, M; GREZ, I; ZUNINO, H. Chemical Characterization of Sewage Sludges in Chile and Their Potential Utilization as Amendment to Reclaim Soils for Forestation Purposes. **Journal of plant nutrition**. v. 30, p.1993-2003; 2007.

ALMEIDA, G. C.; FANHANI, J.C.; OLIVEIRA, S.P.; FILHO, B. P.D. Eficiência dos processos químico e térmico na higienização de lodo de esgoto. **Cesumar**. v. 08, p. 95-99; Jan./Jun. 2006.

ANDREOLI, V. C.; PEGORINI, E. S. Gestão pública do uso agrícola do lodo de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003. p. 281-312.

AKSU, Z. Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a review. **Process biochemistry**. v. 40, p. 997–1026; 2005.

ARCURI, A. S. A.; FERNICOLA, N. A. G. G. Riscos ao meio ambiente e acidentes relatados. In: AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. A. M. **Metais: Gerenciamento da Toxicidade**. São Paulo: Editora Atheneu, 2003.

BARBOSA, G. M. C. **Seminário: ciências agrárias**. Londrina. v. 27, n. 4, p. 565-580; out./dez., 2006.

BERTON, R. S. Riscos de Contaminação do Agrossistema com Metais Pesados. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impacto Ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000.

BETTIOL, W.; FERNANDES, S.A. P. Efeito do lodo de esgoto na comunidade microbiana e atributos químicos do solo. **Empresa brasileira de pesquisa agropecuária**: São Paulo, 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução nº. 375**, de 29 de agosto de 2006. Brasília Disponível em: <http://www.mp.rs.gov.br/ambiente/pgn/id523.htm>. Acesso em: 30 nov. 2008.

BORGES, M. R; COUTINHO, E. L. M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido II - disponibilidade. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 2, p. 557-568; 2004.

BRUNO, M. **Desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) em dois estágios tratando águas residuárias do beneficiamento de café por via úmida**. Dissertação pela Universidade Estadual Paulista/UNESP. São Paulo, 2007. p.125.

CEOLATO, L. C. **Lodo de esgoto líquido na disponibilidade de nutrientes e alterações dos atributos químicos de um argissolo**. Dissertação em Agricultura Tropical e Subtropical Ares de Concentração em Gestão de Recursos Agroambientais pelo Instituto Agrônomo de Campinas. São Paulo, 2007. p. 45.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Resíduos Sólidos**, 2004. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 10 jun. 2009.

CHAGAS, W. F. **Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da Ilha do Governador e da Penha**. XIII, dissertação em Engenharia Sanitária e Saúde Pública pela FIOCRUZ/ENSP. Rio de Janeiro, 2000. p. 89.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Manual Técnico para Utilização do Lodo de Esgoto no Paraná**. Curitiba: SANEPAR, 1997.

CONCEIÇÃO, D.M; ANGELIS, D. A; BIDOIA, E.D; ANGELIS, D. de F. Fungos filamentosos isolados do Rio Atibaia, São Paulo e refinaria de petróleo biodegradadores de compostos fenólicos. **Arq. Instituto de Biológico**, São Paulo: v. 72, n.1 p.99-106; jan./mar., 2005.

CORCIA, A.; CAVALLO, R.; CRESCENZI, C.; NAZZARI, M. Occurrence and abundance of dicarboxylated metabolites of nonylphenol polyethoxylate surfactants in treated sewages, **Environmental Science Technology**. v. 34, p. 3914–3919; 2000.

CORCIA, K; HEINKE, V.; THIELE, V. B; KLEIST, E; PRAST, H; RAECKER, T. Endocrine disrupting nonylphenols are ubiquitous in food, **Environmental Science Technology**, v. 36, p.1676–1680; 2002.

COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, M. R.; ESPINDOLA, E. L. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. São Paulo, **Química. nova**. v. 31 n.7; 2008.

CORVINI, P. F. X.; SCHAFFER, A.; SCHIOSSER, D. Microbial degradation of nonylphenol and other alkylphenols--our evolving view. *App microbiol biotechnol*, **Germany**, v. 72, p. 223-243; abr./jul., 2006.

D'ANNIBALE; ROSETTO, A.F; LEONARDI, V; FEDERICI, F;PETRUCCIOLI, M. Role of Autochthonous Filamentous Fungi in Bioremediation of a Soil Historically Contaminated with Aromatic Hydrocarbons. **Applied and environmental microbiology**. v.1, p 28-36; jan. 2006.

DURÁN, NELSON; ESPOSITO, ELISA. Potential applications of oxidative enzymes and phenoloxidase-like compounds in wastewater and soil treatment: a review. **Applied catalysis B: environmental**. v. 28, p.83–99; 2000.

ERIKSSON, E.; CHRISTENSEN, N.; SCHMIDT, J. E.; LEDIN, A. Potential priority pollutants in sewage sludge, **Desalination**. v. 226, 371–388; 2008.

FERNANDES, F. Estabilização e higienização de biossólidos. In: BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: embrapa meio ambiente, 2000. p. 45-68

FYTIANOS, K.; PEGIADOU, S.; RAIKOS, N. I.; ELEFThERIADIS, H.; TSOUKALI. Determination of non-ionic surfactants (polyethoxylated-nonylphenols) by HPLC in waste waters, **Chemosphere**. v. 35 p.1423–1429; 1997.

GABRIEL, F.L.P.; GIGER, W.; GUENTHER, K.; KOHLER, H.P.E. Differential Degradation of Nonylphenol Isomers by *Sphingomonas xenophaga* Bayram. **Applied And environmental microbiology**, v.71, n.3, p. 1123–1129; 2005.

GESELL, M.; HAMMER, E.; SPECHT, M.; FRANCKE, W. and SCHAUER, F. Biotransformation of biphenyl by *Paecilomyces lilacinus* and characterization of ring cleavage products. *Applied and Environmental microbiology*, v. 67, n. 6, p.1551-1557; 2001.

GRIFFIN, D. H. **Fungal Physiology**. Wiley-Liss, New York, 2nd ed. 2000.

JIANG, M. H. L; TAY, J. H; TAY, S. T.L. Aggregation of immobilized activated sludge cells into aerobically grown microbial granules for the aerobic biodegradation of phenol. **Letters in applied microbiology**, v. 35, p. 439-445; 2002.

KOLLOMANN, A. Effect of Nonylphenol surfactants on fungi following the Application of sewage on agricultural soils. **Environmental. quali**. v. 32, p. 1269-1276; 2003.

KOULOUMBOS, V. N.; SCHÄFFER, A.; CORVINI, P. V. X. The role of sludge conditioning and dewatering in the fate of nonylphenol in sludge-amended soils. **Water science & technology - WST**. v. 57, n. 3 p. 329–335; 2008.

LUIZ, F. A. R.; CAMPOS, C. M. M.; CARMO, A. C. Partida de um reator UASB em escala laboratorial tratando efluente líquido proveniente do despulpamento do café. In: **XXX III Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, CONBEA. São Pedro – SP. *Anais...* Pp (CD-Room), 2004.

LUDUVICE, M. Experiência da companhia de saneamento do Distrito Federal na reciclagem agrícola de biossólidos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 153-162.

JORDÃO, E.P; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 3. ed., Rio de Janeiro: Associação brasileira de engenharia sanitária – ABES, 1995. p. 681.

JONSSON, C.M.; MAIA, A. H.N. Avaliação da toxicidade do lodo de esgoto de duas estações de tratamento para o invertebrado aquático *Daphnia similis*. **Pesticidas: r. ecotoxicol e meio ambiente**, Curitiba, v.17, p.1-8; jan/dez. 2007.

MACHADO M. F. S. **A situação brasileira dos biossólidos**. Dissertação pela Faculdade de Engenharia Civil. São Paulo Campinas, 2001. p. 828.

MARQUES, M. O.; MELO, W. J.; MARQUES, T. A. Metais Pesados e o Uso de Biossólidos na Agricultura. In: TSUTIYA et al. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001.

MAGALHÃES, D.P; FERRÃO FILHO, A.S. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos, Rio de Janeiro, **O ecol . brasileiro**, v.12, n.3, p.355-381; 2008.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA meio ambiente, 2000, p.109-141, 2000.

MORENO, C. M; BECERRA, A G; SANTOS M. J. B. Tratamientos biológicos de suelos contaminados: contaminación por hidrocarburos. Aplicaciones de hongos en tratameuntos de biorrecuperación. **Revista iberoam micologia**. Madrid España, v.21, p. 103-120; 2004.

MORILLO, E.; ROMERO, A.S.; MADRID, L.; VILLAVERDE, J.; MAQUEDA, C. Characterization and Sources of PAHs and Potentially Toxic Metals in Urban Environments of Sevilla (Southern Spain). **Water air soil pollution**. v. 187, p. 187:41–51, 2008.

MIKI, M. K.; ANDRIGUETI, E. J.; SOBRINHO, P. A. Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA et al. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. p. 41-88.

NETO, M; LUIZ, S. **Enzima ligninolítico produzidos por *Psitocybe castenella* CCB 444 em solo contaminado com hexaclorobenzeno**. Dissertação em Biodiversidade vegetal e meio ambiente pelo Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, 2006. p. 12-16.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. M.; MARCIANO, C. R.; JUNIOR, C. H. A. Movimentação de metais pesados em latossolo adubado com composto de lixo urbano. **Revista de pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 37, n. 12, p. 1787-1793; dez. 2002.

PEGORINI, E. S.; HOPPEN, C.; TAMANINI, C. R.; ANDREOLI, C. V. Levantamento da contaminação de lodo de estações de tratamento de esgotos do estado do Paraná: II Metais Pesados. In: **Silubesa**, Fortaleza, 2006.

PETROVIC, M.; BARCELÓ, D. Determination of anionic and nonionic surfactants, their degradation products, and endocrine-disrupting compounds in sewage sludge by liquid chromatography/mass spectrometry. **Analytical chemistry**, Barcelona, Spain, v. 72, n. 19, out.; 2000.

PIRES, A. M. M., MATTIAZZO, M. E. Biosolids conditioning and the availability of Cu and Zn for rice. **Scientia agricola**, v. 60, n.1, p.161-166; Jan./Mar. 2003.

RANGEL, O. J. P; SILVA, C. A.; BETTIOL, W.; DYNIA, J. F. Efeito de aplicações de lodo de esgoto sobre os teores de metais pesados em folhas e grãos de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 583-594; 2006.

SANTOS, V.L; LINARDI, V. R. Biodegradation of phenol by a filamentous fungi isolated from industrial effluents—identification and degradation potential. **Process biochemistry**. v.39, p.1001-1006; 2004.

SILVA, J. E.; RESCK, D.V.S.; SHARMA, R. D. Alternativa agronômica para o biossólido: a experiência de Brasília. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA meio ambiente, 2000. p. 143-152.

SLATER, J. H. Microbial communities in the natural environment. In.: CHATER, K.W.; SOMERVILE, H.S (Eds.). **The Oil Industry and microbial ecosystems**., Heyden and Sons, London, 2001. p. 137-154.

SILVA, I. E. C da; LUDWIG, K. V. F; NEUMANN, D.; SCHNEIDER, A. C; ONOFRE, S. B. Fungos filamentos degradadores de compostos fenólicos isolados de águas residuais de postos de combustíveis. **Revista de biologia e saúde**, Paraná. v. 1, n.1; 2007.

SOBRINHO, P. A. Tratamento de esgoto e geração de lodo. In: TSUTIYA et al. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001.

TAKAMATSU, A. A. **Avaliação da bioxiviação de metais pesados por bactérias do gênero *Triobacillus* em lodos biológicos para utilização agrícola com fertilização** Dissertação de mestrado pela Universidade Federal do Paraná Curitiba, 1995. p.1-3.

TAUK, S. M. Biodegradação de resíduo orgânicos no solo. **Geociência**, São Paulo, v. 20, p. 299-301; mar./dez., 1999.

TSUTIYA, M. T. Características de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: TSUTIYA et al. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. p. 89-132.

TSUTYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos. In: CARVALHO, P. de C. T.; COMPARINI, J. B.; HESPANHOL, I.; MARQUES, M. O.; MELFI, A. J.; MELO, W. J. de.; SOBRINHO, P. A.; TSUTYA, M. T. **Biossólido na agricultura**. 2. ed. São Paulo: ABES/SP, 2002. p. 133-180.

THAWORNCHAI, T; PAKULANON, K. Application of dried sewage sludge as phenol biosorbent Usarat. **Bioresource technology**. v. 98, p.140–144; 2007.

YALLOUZ, A.V.; CESAR, R.G.; EGLER, S.G. Potential Application of a Semi-quantitative Method for Mercury Determination in Soils, Sediments and Gold Mining Residues. **Environmental pollution**, v.151, p.420-433; 2008.

ZHANG, J; YANG, M; ZHANG, Y; CHEN, M. Biotransformation of nonylphenol ethoxylates during sewage treatment under anaerobic and aerobic conditions. **Journal of environmental sciences**. v. 20, p.135–141; 2008.

ZEITOUNI, R.F. **Análise Crítica da Norma CETESB P 4.230: Aplicação de Lodos de Sistemas de Tratamento Biológico em Áreas Agrícolas – Critérios Para Projeto e Operação**, Dissertação de Mestrado em Gestão dos Recursos Agroambientais pelo Instituto Agrônomo de Campinas, São Paulo, 2005.

ZUQUE, A. L. F.; WZTANABE, E. S.; FERREIRA, A. M. T.; ARRUDA, A. L. A.; RESENDE, U. M.; BUENO, N. R.; CASTILHO, R. O. Avaliação das atividades antioxidante,

antimicrobiana e citotóxica de *Couepia grandiflora* Benth (Chrysobalanaceae). **Revista brasileira de farmacognosia**. v.14, n.2, p.129-136; 2004.

## CAPÍTULO 2

# CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA, FENÓIS TOTAIS, METAIS PESADOS E DO LODO DE ESGOTO DA ESTAÇÃO MANGUEIRA, PERNAMBUCO, BRASIL

Ednaldo R. dos Santos<sup>a</sup>, Grayce Kelli B. Silva<sup>b</sup>, Nelson Duran<sup>e</sup>, Arminda Saconi Messias<sup>b,c</sup>, Galba M. Campos Takaki<sup>b,c</sup>, Kaoru Okada<sup>b,d\*</sup>

<sup>a</sup> Mestrado em Desenvolvimento de Processo Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), Recife-PE, Brasil

<sup>b</sup> Núcleo de Pesquisas em Ciências Ambientais (NPCIAMB), Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), Recife-PE, Brasil

<sup>c</sup> Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), Recife-PE, Brasil

<sup>d</sup> Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), Recife-PE, Brasil

<sup>e</sup> Laboratório de Química-Biológica, IQ, (UNICAP), CP 6154, Campinas-SP

\* Autor para correspondência: Profa. Dra. Kaoru Okada

Rua Nunes Machado, 42, Bloco J, Unicap, Boa Vista, Recife - PE

CEP 50050-590 Fax: (81) 2119-4043 E-mail: kao@unicap.br

## 2.1 RESUMO

O lodo de esgoto utilizado neste estudo foi obtido a partir dos resíduos resultantes do tratamento das águas residuais urbanas. Os lodos provenientes de esgotos contêm nutrientes e matéria orgânica que pode trazer benefícios ao solo e são amplamente utilizados como fertilizantes. No entanto, podem conter contaminantes, incluindo metais, microrganismos patogênicos, fenóis totais e poluentes inorgânicos. A caracterização microbiológica indicou a presença de coliformes totais e ausência de coliformes fecais. As investigações com fungos filamentosos isolados de *Penicillium sp*, *Chrysosporium sp*, *Scedosporium sp*, *Monotospora sp* e *Aspergillus sp* e a produção de fenoxidase por todas as cepas, exceto *Aspergillus sp*, sugeriram a habilidade de degradar compostos fenólicos. A caracterização química do lodo de esgoto indicado é: teor de carbono total 14,7833 mg/100 mg, fenóis totais no valor de 0,198 mg/L e Ca, Mg, Al, Zn, Cu, Ni, Cd, Fe, Mn e Cr – todos com níveis de acordo com a lei do Conama, com exceção do Mn. O teste de toxicidade realizado com o lodo de esgoto seco, utilizando o bioensaio com *Artemia salina*, mostrou que, uma vez o lodo atingindo os corpos d'água, a concentração letal é de 32,44%. Os estudos biotecnológicos com lodo de esgoto da Estação Mangueira, Pernambuco, Brasil, indicaram que a maioria dos metais não apresentou características poluidoras dos solos



quando o lodo foi empregado na agricultura, podendo ser uma alternativa economicamente viável e ambientalmente segura uma vez tratado adequadamente.

Key words: Sewage sludges; heavy metals; total phenols; toxicity.

## 2.2 ABSTRACT

The sewage sludge used in this study was obtained from the waste resulting from treatment of urban wastewater. The sludge from sewage contains nutrients and organic matter that can bring benefits to the soil and they are widely used as fertilizer. However, it may contain contaminants, including metals, pathogenic microorganisms, total phenols and inorganic pollutants. The microbiological characterization indicated the presence of total coliforms and the absence of fecal coliforms. Investigations using filamentous fungi isolated from *Penicillium sp.*, *Chrysosporium sp.*, *Scedosporium sp.*, *Monotospora sp.*, and *Aspergillus sp.*, and the production of phenoloxidase by all strains except *Aspergillus sp.*, suggesting the ability to degrade phenolic compounds. The chemical characterization of the indicated sewage sludge: total carbon content 14.7833 mg/100 mg, total phenols at the amount of 0.198 mg / L, and Ca, Mg, Al, Zn, Cu, Ni, Cd, Fe, Mn and Cr showed that the levels are in agreement with the law of CONAMA except Mn. O toxicity test, performed with the dried sewage sludge, using the bioassay with *Artemia. salina* showed that, once the sludge reaching the water bodies, the lethal concentration is 32.44%. Biotechnological studies with sewage sludge from the station of Mangueira, Pernambuco, Brazil, indicated that most metals didn't show soil polluting characteristics when used in agriculture, and it can be an economically viable and environmentally safe alternative, whether treated properly.

Key words: Sewage Sludge, Heavy metals; Total phenols; Toxicity

## 2.3 INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto (LE) é o principal subproduto derivado do processo de tratamento de águas residuárias urbanas. A produção deste resíduo vem aumentando consideravelmente devido ao processo de urbanização e, conseqüentemente, ao aumento do número de habitantes. O lodo bruto é resultante dos despejos domésticos ou industriais, os quais, lançados em mananciais, contribuem para a degradação deste ecossistema. Portanto, com a finalidade de poupar as fontes naturais, esse resíduo deve passar por uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), a qual reduzirá a carga de contaminantes ou poluentes existentes, para que possa retornar aos corpos hídricos sem provocar riscos à

saúde humana. No entanto, as técnicas alternativas mais comuns para disposição final do LE são aterros controlados e incineração, que representam um risco ao meio ambiente. O uso do lodo na agricultura é a técnica mais indicada (CAVINATTO et al., 2007; ALMEIDA et al., 2006; HARRISON et al., 1994).

O LE apresenta uma composição média de 99,9% de água e 0,1% de sólido. Sua composição química depende de sua origem e dos tratamentos de depuração aos quais ele foi submetido. Em geral, apresentam um alto potencial para serem utilizados como fertilizantes nitrogenados (MELO et al., 2001).

Neste sentido, tem sido observado pela literatura que o LE apresenta um grande número de compostos químicos, que o tornam muitas vezes impróprio para a agricultura. Entre as substâncias orgânicas hidrofóbicas, tóxicas, persistentes e bioacumulativas do LE, dependendo de sua origem, pode ser encontrado um grande número de substâncias consideradas tóxicas, como os derivados do petróleo, o surfactante sintético nonilfenol, metais pesados e microrganismos patogênicos (GILLER, 1998; FARIA et al., 2006; ALAM et al., 2003; HARRISON et al., 1994; ERIKSSON et al., 2008).

Os compostos fenólicos que poluem o meio ambiente apresentam na sua estrutura um grupo hidroxila (OH) ligado de forma direta a um carbono do núcleo benzênico, o qual faz parte da composição de vários efluentes domésticos e industriais, como refinarias, têxteis, de papel e celulose, de azeite de oliva e fundições de metais (RODRIGUES et al., 2007).

O fenol também é um composto intermediário químico usado na produção de xampus, aditivos para óleos lubrificantes, desinfetantes e agentes antissépticos. Essas substâncias de composição – ácidos, bactericidas – apresentam efeitos carcinogênicos e mutagênicos, cuja presença no ambiente pode causar sérios danos ao meio ambiente e, conseqüentemente, ao homem. Esses compostos são extremantes tóxicos quando ingeridos ou inalados, mesmo em baixas concentrações (PARÁIBA, 2005; HARRISON et al., 2006).

Os anéis aromáticos existentes em substâncias encontradas no LE constituem o principal obstáculo para o tratamento deste resíduo. Entretanto, os fungos filamentosos têm sido empregados na degradação desses compostos através da ação do arsenal enzimático, que torna o organopoluente mais acessível aos processos de biodegradação (VICIGUERRA et al., 1995; HARRISON et al., 1994).

Espécie do gênero *Aspergillus sp* têm demonstrado grande eficiência na degradação de compostos fenólicos e na remoção de cor dos mais diversos dejetos industriais. O *A. niger* vem sendo utilizado no tratamento de águas residuárias com fenol, apresentando boa eficiência na remoção do composto (KYRIACOU et al., 2005).

Além dos fenóis, os metais pesados e outras substâncias tóxicas do lodo de esgoto contaminam os solos. Os metais pesados, quando encontrados em elevadas concentrações, representam um perigo ambiental. A legislação brasileira estabelece a concentração de 0,5mg/L de fenóis, como padrão limitante para a preservação ambiental (BRASIL, 2006). Contudo, no Brasil, na água destinada ao abastecimento humano o limite máximo permitido é 0,1 u/L de fenol. Portanto, a busca de tecnologias avançadas se faz necessária, visando minimizar os impactos causados pela presença desses contaminantes no meio ambiente (SILVA et al., 2007).

A aplicação do LE no ambiente pode ser limitada por fatores como a presença de microrganismos patogênicos, compostos orgânicos tóxicos, contaminação das águas superficiais por nitrato e transmissão de metais pesados. Desse modo, metais e microrganismos patogênicos podem ser transferidos do solo para culturas, podendo chegar aos animais e seres humanos, oferecendo prejuízo à saúde (ERIKSSON, 2008).

A concentração de metais pesados no lodo é muitas vezes significativa, limitando sua utilização como fertilizante, seja pelos riscos de contaminação da cadeia trófica, via absorção, e translocação desses elementos em plantas cultivadas nessas áreas, seja pela possibilidade de percolação de metais para águas subterrâneas. Do volume de esgoto que entra na estação, 1% corresponde ao volume de lodo produzido, e este contém entre 50% e 80% da quantidade de metais (SANTOS, 2003; NASCIMENTO et al., 2004).

Os metais pesados são cátions bivalentes de comprovada toxicidade, sendo os mais preocupantes o Hg, Pb, Cd, As, Cu, Zn, Ni, entre outros (VIRGA, 2006).

Este trabalho teve como objetivo avaliar as características químicas e microbiológicas presentes no LE da Estação Mangueira, Pernambuco, Brasil, para o uso na agricultura.

## **2.4 MATERIAIS E MÉTODOS**

### *Lodos de Esgoto*

O LE foi coletado de um leito de secagem de digestão anaeróbia seco ao ar livre, triturado e passado em peneira com abertura de malha de 4mm da ETE Mangueira, Recife, Pernambuco, Brasil, sendo gentilmente cedido pela Companhia Pernambucana de Saneamento.

### *Métodos Microbiológicos*

*Isolamento dos fungos:* O isolamento dos microrganismos do LE foi feito mediante diluição seriada a partir das suspensões do lodo de esgoto em água destilada, nas diluições  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  e  $10^{-4}$ . Em seguida, as suspensões foram transferidas para as placas de Petri contendo o meio de cultura meio Martin 1,0 g  $K_2HPO_4$ ; 0,5 g de  $MgSO_4$ ;  $H_2O$ ; 5,0 g de peptona; 10 g de dextrose; 0,03 g de rosa de bengala; 16 g de ágar e 1000 mL de água destilada (SILVA, 2007). Apenas nas diluições  $10^{-2}$  e  $10^{-3}$  foi adicionado cloranfenicol (0,008%) ao meio Martin. As placas foram mantidas a temperatura de 28°C até o aparecimento de colônias. Todo o experimento foi realizado em duplicata. Foram isoladas e identificadas 24 colônias de fungos filamentosos em nível de gênero e submetidas ao teste de Bavendamm, no sentido de observar o comportamento de cada microrganismo isolado na produção de fenoloxidasas, assim como as características macroscópicas e microscópicas das colônias. As identificações foram feitas baseadas nos trabalhos de Alexopoulos et al. (1995), Bettiol (2004) e Estrada (2006). Todos os isolados foram depositados no Banco de Cultura do Núcleo de Pesquisa de Ciências Ambientais (NPCIAMB-UCP) da Unicap, Recife-PE. Em seguida, colônias isoladas e identificadas foram transferidas para tubos de ensaio contendo 5 mL do meio sabouraud dextrose ágar (40 g de glicose, 10 g de peptona, 15 g de ágar, 1000 mL de água destilada, pH 7,0). Os tubos foram incubados na mesma temperatura e, após o crescimento, foram mantidos a temperatura de 5°C.

*Obtenção de cultura monospórica:* Os esporos das amostras foram transferidos do tubo de ensaio para um vidro com tampa de rosca contendo 2,0 mL de solução 0,1% de tween 80 e 100 mL de água. A suspensão foi agitada para desagregar os esporos. Em seguida foram contados em um hematímetro e foram feitas as diluições apropriadas, de maneira a se conseguir de 20 a 100 colônias cada placa de Petri contendo meio de cultura BDA (4,0 g de batata, 20,0 g de dextrose; 15,0 g de ágar, 1000 mL de água destilada, pH 5,6 + 0,2 a 25°C). As placas foram mantidas em temperatura ambiente. A germinação dos esporos foi observada a partir de 12 horas até 72 horas de crescimento. Após a germinação dos esporos,

com o auxílio de uma lupa, um só esporo foi transferido para um tubo de ensaio contendo BDA para o desenvolvimento da colônia.

*Análise bacteriológica:* As análises bacteriológicas foram realizadas pelo método do número mais provável (NMP), pela técnica dos tubos múltiplos, de acordo com a metodologia da American Public Health Association (1992).

*Seleção de fungos degradadores de compostos fenólicos:* Os fungos filamentosos foram cultivados em meio ácido gálico (MAG) de 7 a 28 dias  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Após esta etapa, um inóculo de 5 mm de diâmetro foi transferido para placas de Petri contendo meio de malte acrescido de ácido gálico 0,5%, pH 3. No período de 5 a 28 dias  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ , foram acompanhadas a progressão do halo e a intensidade de formação da cor âmbar, características da “reação de Bavendamm” (reação de ácido fenólico com o ácido gálico, sob ação das fenoloxidasas fúngicas, formando quinonas, que são identificadas pela formação de um halo de cor âmbar em torno do micélio). Por fim, foi feita a classificação: a intensidade da cor foi classificada em (F) fraca, (M) moderada e (I) intensa e o halo foi medido em centímetros (CONCEIÇÃO et al., 2005).

#### *Métodos Analíticos*

*Determinação de carbono orgânico total (COT):* Com este método foi determinado o teor de carbono total existente na amostra, tanto orgânico como inorgânico (APHA 5310B, 1995). A análise de carbono orgânico total seguiu o modelo TOC 5000A Shimadzu. Neste método, foram introduzidos 100 miligramas de lodo de esgoto seco em uma câmara de aquecimento com um catalisador oxidativo, como óxido de cobalto. O sólido é aquecido no forno a  $900^{\circ}\text{C}$  (TC) e o carbono orgânico é liberado e oxidado na forma de  $\text{CO}_2$ , sendo quantificado por meio de um analisador de infravermelho não dispersivo. O carbono inorgânico foi medido adicionando o ácido fosfórico na amostra e introduzindo no forno, o qual é convertido em  $\text{CO}_2$  e quantificado de maneira semelhante à descrita anteriormente. O carbono orgânico total é então obtido pela diferença entre o carbono orgânico e o carbono inorgânico.

*Análise de metais:* A análise de fluorescência do lodo de esgoto foi realizada em colaboração com a Faculdade de Mogi das Cruzes, em São Paulo. O método empregado nas análises foi o estabelecido pela U.S. EPA SW – 846 métodos 3050 e 3051 2007.

*Determinação de fenóis totais:* A determinação de fenóis foi estimada colorimetricamente segundo o método de padrão (APHA 5550 B 1995). A análise foi feita com a retirada de 100 mg da amostra (LE) solubilizada em água destilada durante 24 horas e posteriormente filtrada em filtro analítico. As análises da reação foram feitas em triplicata. A mistura de reação foi composta de 1 mL de amostra, 0,250 mL de solução carbonato-tartarato de sódio (200 g de carbonato de sódio, 12 g de tartarato de sódio dihidratado, diluído em 1000 mL de água destilada) e 0,025 mL do reagente Folin-Ciocalteu (uma mistura de heteropoliácidos fosfomolibdico fosfotúngstico), Aldrich, EUA, após 30 minutos a 20°C, comprimento de onda de 700 nm e comparada com a curva-padrão de fenol. Os produtos de oxidação resultantes formam um complexo azul contendo molibdênio e tungstênio.

#### *Avaliações da Toxicidade*

*Teste de toxicidade com Artemia salina:* Foi realizado segundo Meyer et al. (1982) e McLanghlin et al. (1995). Foram utilizados 24 g do lodo de esgoto estéril, solubilizados em 24 mL de água destilada estéril. A solução foi agitada por 30 minutos e filtrada. O teste foi realizado com amostras em triplicata. As concentrações da solução filtrada foram 10%, 25%, 50%, 75%, sendo o volume final do teste de 4,5 mL. Para a amostra de 10% de concentração foi utilizado 0,5 mL da amostra para 4,5 mL de solução salina, e assim sucessivamente. Foram utilizados ovos do microcrustáceo *Artemia salina* para eclosão a 28°C por 24 horas. Após a eclosão deu-se início ao teste com 10 indivíduos em frascos de vidro com capacidade para 5 mL. Após 24 horas de ensaio, a 28°C, foi realizada a contagem dos organismos sobreviventes, determinando a concentração letal (LC<sub>50</sub>) para 50% dos organismos presentes no teste.

## 2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Microorganismos do Lodo de Esgoto*

Os resultados obtidos das análises microbiológicas do LE da Estação de Tratamento da Mangueira mostram que foram encontrados fungos leveduriformes. Os testes revelaram um crescimento de colônia 92 UFC/mL, como também diferentes gêneros de fungos filamentosos, e para coliformes totais o valor de  $10^5$  UFC/mL. Não foram observados coliformes fecais. Esses resultados estão de acordo com Farias et al. (2006) e Alan (2003). Ambos encontraram no LE de águas residuais domésticas algumas espécies de fungos filamentosos, como *Penicillium corylophilum*, *Aspergillus niger*, *Trichoderma harzianum* e *Phanerochaete chrysosporium*, e também a presença de 77% de bactérias gram-positivas no lodo de esgoto em Franca, São Paulo. Cavinatto (2007) chama a atenção para a finalidade das ETEs, dizendo que elas podem vir a representar reais barreiras sanitárias destinadas à proteção do meio ambiente e à manutenção dos recursos naturais. Assim, é de suma importância que as estações de tratamento sejam concebidas de maneira perfeitamente integrada ao ecossistema, dando destinos definitivos tanto à fase sólida como à fase líquida dos esgotos, de forma que a natureza não sofra impactos irreversíveis. Andreoli (2001) considera o LE, dependendo de sua origem, como perigoso, podendo oferecer risco à saúde humana e animal.

### *Fungos Filamentosos Isolados do Lodo de Esgoto Produtores de Polifenoloxidasas*

Os resultados obtidos indicaram que, do total das 24 culturas de fungos filamentosos analisadas, 46% demonstraram habilidade na produção de fenoloxidasas. Em relação aos demais microrganismos, ou seja, 54%, os resultados foram negativos. Quanto à intensidade do halo de reação, apresentaram 18% com reação intensa os gêneros *Scedosporium sp* e *Scedosporium sp*; 18% reação moderada *Scedosporium sp* e *Chrysosporium sp*; e 64% reação positiva fraca *Scedosporium sp*, *Chrysosporium sp*, *Monotospora sp* e *Penicillium sp*. Os halos obtidos apresentaram intensidade e diâmetro distintos para os diferentes gêneros, conforme a tabela 1. As estruturas microscópicas dos fungos isolados do LE em

estudo são mostradas na figura 1. Os resultados dos fungos filamentosos positivos para o teste de fenoloxidase estão relacionados à oxidação de compostos fenólicos. Essa característica está associada aos mecanismos de resistência dos fungos, sob condições ambientais adversas, confirmando, assim, o fungo do gênero *Penicillium*, encontrado no lodo (SILVA, 2007; GRIFFITH, 1994). Entre os isolados testados, foi observado na maioria dos experimentos que os fungos desenvolveram-se significativamente em crescimento aéreo e que todos os fungos em estudos que possuíam pigmentação escura apresentaram a formação do halo característico da reação de Bavendamm.

Os fungos de pigmentação negra são efetivamente degradadores de compostos de cadeia complexa (VASSILEV et al., 1994; LEONOWICZ et al., 1999; TUOMELA et al., 2000). Na literatura os gêneros *Scedosporium sp*, *Chrysosporium sp* e *Monotospora sp* não foram citados como produtores de fenoloxidases.

Segundo Conceição et al. (2005), em um trabalho com atividade fenolítica de 257 amostras de fungos isolados de uma refinaria de petróleo, desses, 43% apresentaram formação do halo, indicando a presença de fenoloxidase. Entre eles estão *Cladosporium*, *Fusarium*, *Phoma* e *Penicillium*, corroborando, assim, os resultados obtidos nesta pesquisa.

Os fungos que apresentaram reação positiva para a produção de fenoloxidases são considerados importantes, pois demonstraram potencial significativo para serem introduzidos em processos de biorremediação, com perspectivas de resultados promissores para tratamento de resíduos e efluentes fenólicos, reforçando a ideia de que numerosas espécies com potencial para degradar e/ou reciclar compostos tóxicos podem ser isoladas de ambientes alterados pela poluição.

#### *Compostos Presentes no Lodo de Esgoto: Carbono Orgânico Total, Metais Pesados e Fenóis Totais*

*Carbono orgânico total (COT):* O valor obtido de carbono orgânico foi de 14.7833 mg/100 mg de lodo e para carbônico inorgânico foi zero, conforme descrito na tabela 2. A mostra de LE para parâmetro orgânico e inorgânico é regulamentada conforme



o anexo IV da Resolução Conama nº 375/2006. Os valores do carbono encontrados foram muito baixos. Uma vez que o lodo usado nesta pesquisa foi processado de forma anaeróbia, o baixo valor do COT é apresentado por Andreoli (2001), para quem o processo de digestão do lodo na ETE do tipo anaeróbio envolve um maior tempo de biodegradação da matéria orgânica do lodo, reduzindo assim a fração orgânica.

*Análise de metais:* Os resultados referentes aos teores de metais e os respectivos valores-limite pela legislação estão apresentados na tabela 3. Todos os valores dos metais encontrados para a amostra do LE estão dentro do limite estimado pela resolução do Conama (2006), porém o único metal que apresenta um valor acima do limite é o manganês, com um valor 3,78 vezes acima do considerado aceitável.

A preocupação com metais pesados em solos cultiváveis e os possíveis efeitos prejudiciais a eles associados teve início a partir do uso do lodo em solos agrícolas. Entretanto, a presença desses metais não é exclusiva desses resíduos, uma vez que fertilizantes, corretivos, defensivos e outros materiais usados na agricultura também podem contê-los (KÜTÜK, 2000). O lodo gerado no tratamento de esgoto urbano geralmente possui uma baixa concentração de metais pesados. No entanto, mesmo para essa condição, a absorção de metais por plantas cultivadas em solos adubados com lodo deve ser monitorada, visando à aplicação ambientalmente segura do resíduo, visto que o efeito de biomagnificação de metais pode ser uma via de contaminação importante (WINDER et al., 1999; ANJOS et al., 2000). Segundo Assunção (1997), existem 38 elementos classificados como metais pesados do ponto de vista químico, porém do ponto de vista ambiental são considerados como elementos passíveis de causar impactos negativos ao meio ambiente. Alguns, como Ag, As, B, Ba, Co, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sn e Zn, podem estar presentes em lodos residuais de ETEs, dependendo basicamente das fontes contribuidoras de formação do esgoto.

Os valores-limite para os elementos Ca, Mg, Al e Fe não são quantificadas pela resolução. É importante ressaltar que o método empregado nas análises deve seguir o que está estabelecido pela U.S. EPA SW – 846 métodos 3050 e 3051 e pelo Conama (Resolução nº 375/2006), para que as análises possam ser validadas.

Outros metais, como Fe, Ca, Mg e Al, não apresentam toxicidade nas concentrações encontradas. Fazem-se necessários o controle rigoroso da presença de manganês no lodo e a disposição dele, pois o excesso de manganês é acumulado no fígado e no sistema nervoso central, decorrente das exposições prolongadas por inalação, provocando sintomas do tipo “*Parkinson*” (doença degenerativa). Por esses e outros efeitos prejudiciais é que o manganês é considerado tóxico e está na lista dos metais pesados. A toxidez devido ao metal pesado para a planta deve ser acompanhada, pois pode acontecer diminuição no crescimento ou redução na colheita, alteração em nível molecular, subcelular e finalmente no tecido da planta (BECKETT, 1999).

*Análise dos fenóis totais:* Os resultados dos fenóis totais do (LE) estão na Tabela 4, considerando que os teores desse poluente. Veeresh et al. (2005) citaram que o conteúdo de compostos fenólicos em águas residuárias pode variar de 10 a 17.000 mg L<sup>-1</sup>, sendo normalmente mais alto que o limite padrão de 0,5 mg L<sup>-1</sup>, estabelecido no Brasil (Brasil, 2005) para o seu lançamento no meio aquático. Diante da necessidade cada vez maior de preservação dos recursos naturais. Por fim, todos os valores analisados nas amostras do LE estão dentro do limite da legislação vigente do CONAMA (2006).

#### *Teste de Toxicidade do Lodo de Esgoto*

Testes de toxicidade são importantes para avaliar os efeitos danosos de substâncias tóxicas sobre o meio ambiente, tendo em vista que os testes físico-químicos não são capazes de detectar efeitos deletérios que podem ser causados à biota. Por isso, são usados como ferramenta confiável para estimar as concentrações de compostos que possam provocar efeitos maléficos sobre os organismos (BARBIERI, 2002).

Sabe-se ainda que práticas agrícolas que levam à contaminação dos recursos hídricos impactam diretamente a vida das comunidades aquáticas. Logo, os testes de toxicidade com o microcrustáceo *Artemia salina* são capazes de detectar compostos bioativos (RUIZ, 2005).

Os resultados obtidos nos testes de toxicidade com *Artemia salina* são apresentados na tabela 5. Os cálculos realizados com o LE para obtenção da concentração letal (LC<sub>50</sub>) foram correspondentes a 32,44%. Esse resultado mostra que o LE, uma vez jogado em corpos d'água nessa mesma concentração, compromete a microbiota aquática, pertencente ao mesmo nível trófico da *A. salina*. Essas afirmações são apoiadas pelas investigações de Jonsson (2007) e Tsakou, (2001), cujos dados revelam que, de acordo com a procedência do LE, ele pode conter fonte de contaminação como metal e oferecer riscos adversos à biota aquática.

## 2.6 CONCLUSÕES

Os estudos demonstram o potencial biotecnológico do lodo de esgoto na agricultura, considerando a microbiota presente com habilidade de degradar os compostos fenólicos que possam existir, mesmo aqueles com estruturas aromáticas mais complexas.

Portanto, o lodo da Estação Mangueira, Pernambuco, se mostra com composição adequada e sem riscos para o meio ambiente, com exceção do metal manganês, pois, uma vez feita correção do Mn, poderá ser empregado na agricultura sem maiores problemas.

## 2.7 REFERÊNCIAS

- Andreoli, C. V. e Pinto, M. A. T.: 2001. *Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final*. Curitiba. Pp.
- Alam, M. Z., Fakhru'l-Razi, A., Abd-Aziz, S. e Molla, A. H.: 2003. "Optimization of Compatible Mixed Cultures for Liquid State Bioconversion of Municipal Wastewater Sludge", *Water, Air, and Soil Pollution*, 149,1-4, pp.113-126.
- Alexopoulos, C.J., Mims, C.W. e Blackwell, M.: 1996. *Introductory Mycology*. New York: John Wiley & Sons, Publishers, p. 233.

- Almeida, G.C., Fanhani, J.C., Oliveira, P.S. e Dias Filho, B. P.: 2006. "Eficiência dos processos químicos e térmico na higienização de lodo de esgoto". *Iniciação CESUMAR*, 08, 1, pp.95-99, jan/jun.
- Anjos, A. R. M. e Mattiazzo, M. E.: 2000. 'Metais pesados em plantas de milho cultivadas em latossolos repetidamente tratados com biossólido'. *Scientia Agricola*, Piracicaba, 57,4, pp.769-776.
- APHA Standard methods for examination of water and wastewater.: 1995. 17 ed. American Publ. Health Ass., N.Y., n 5550 B, p. 568.
- Assalin, M. R.: 2005. *Tratamento do efluente de indústria papreira por processo combinado: ozônio e lodo ativado*. São Paulo, dissertação em Físico-Química. Instituto de Química UNICAMP, p.78, 31-34.
- Barbieri, E., Oliveira, I.R. e Serralheiro, P.A.C.: 2002. 'The use of metabolism to evaluate the toxicity of dodecil benzen sodium sulfonate (LAS-C12) on the *Mugil platanus* according to the temperature and salinity'. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 277, pp.109-127.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente: 2006. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 375.
- Beckett, P. H. T.: 1991. 'Critical tissue concentrations as indicators of toxicity'. *Suelos Ecuatoriales*. Bogota.
- Bettiol, W. e Fernandes, S.A.P.: 2004. *Efeito do lodo de esgoto na comunidade microbiana e atributos químicos do solo*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: São Paulo.
- Biscaia, R. C. M. e Miranda, G. M.: 1996. 'Uso do lodo de esgoto calado na produção de milho'. *Sanare*, Curitiba, 5, 1, pp.86-89.
- Cavinatto, A.S. e Paganini, W.S.: 2007. 'Os microrganismos nas atividades de disposição de esgoto no solo-estudo de caso'. *Engenharia sanitária ambiental*, São Paulo, 12, pp.42-51.
- Conceição, D. M. *et al.*: 2005. 'Fungos filamentosos isolados do Rio Atibaia, São Paulo e refinaria de petróleo biodegradadores de compostos fenólicos'. *Arq. Instituto de Biológico*, São Paulo. 72, 1, pp. 99-106, jan./mar.
- Estrada, I.B., Gómez, E., Aller, A. e Morán, A.: 2006. Microbial monitoring of the influence of the stabilization degree of sludge when applied to soil. *Bioresource Technology*, v. 97, p. 1308-1315.
- Eriksson, P. E. J.; Sakamoto, K.; Uhrberg, R.I.G. (2008). 'Origin of a surface state above the Fermi level on Ge(001) and Si(001) studied by temperature-dependent ARPES and LEED'. *Physicas, Rev. B*, 77, pp. 40-45.

- Faria, C.M.D.R., Campos, V.P., Souza, R.M.S., Moreira, F.M.S., Oliveira, L. e Faria, M.V.: 2006. 'Isolamento e caracterização de bactérias do lodo de esgoto com potencial antagonismo a nematóides'. *Ambiência - Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais*, 2, 2, jul/dez.
- Giller, K.E., Witter, E. e Mcgrath, S.P.: 1998. 'Toxicity of heavy metals microorganisms and microbial process in agricultural soils: a review'. *Soil Biology and Biochemistry*, 30, pp. 1389-1414.
- Griffith, G.W. 'Phenoloxidasas'. In: Martinelli, S.D. e Kinghorn, J.R. (Eds.): 1994. *Aspergillus nidullans: 50 years on— progress in industrial microbiology*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, pp.763-788.
- Harrison, R., Xue, D.; Henry, C. e Cole, D.W.: 1994. 'Long-term effects of heavy applications of biosolids on organic matter and nutrient content of a coarse-texture forest soil'. *For. Ecol. Manag.*, 66, pp. 165-177.
- Jonsson, C.M., e Maia, A. H.N.: 2007. 'Avaliação da toxicidade do lodo de esgoto de duas estações de tratamento para o invertebrado aquático *Daphnia similis*'. *Pesticidas: ecotoxicol e meio ambiente*, Curitiba, 17, pp. 1-8, jan/dez.
- Kütük, C. And Çayc, G.: 2000. 'Effect of beer factory sludge on yield components of wheat and some soil properties'. In: *Proceedings of International Symposium on Desertification*, 13-17 June Konya, pp. 313-318.
- Kyriacou, A.: 2005. 'Combined bioremediation and advanced oxidation of green table olive processing wastewater'. *Process Biochemistry*, 40, pp. 1404-1408.
- Leonowicz, A., Matuszewska, A., Luterek, J. Z., Iegenhagen, D., Wojtas-Wasilewska, M., Cho, N.S. and Hofrichter, M.: 1999. 'Biodegradation of lignin by white rot fungi'. *Fungal Genet. Biol.*, [S. L.], 27, pp.175-185.
- Melo, W. J., Marques, M. O. e Melo, V. P.: 2001. *O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. Biossólido na agricultura*. São Paulo: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, pp. 289-363.
- Meyer, B.N., Ferrigni, N.R., Putnam, J.E., Jacobsen, L.B., Nichols, D.E. and Mclaughlin, J.L.: 1982. 'Brine shrimp, a convenient general bioassay for active-plant constituents'. *Planta Med.* 45, pp. 31-34.
- Moraes, M.P.G.: 2003. *Determinação de metais pesados em lodo de esgoto por espectrometria de fluorescência de raios X*. São Paulo, dissertação em Instituto de Geociência, p. 54.
- Mclaughlin, J. L., Colman-Saizarbitaria T. and Anderson, J.E.: 1995. 'Tres bioensayos simples para químicos de productos naturales'. *Rev. De la Sociedad Venezolana de Química*, 18, 4, pp. 13-18.

- Nascimento, C. W. A., Barros, D. A. S., Melo, E. E. C. e Oliveira, A.: 2004. 'Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto'. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 28, 2, pp.385-392.
- Paraíba, L.C. e Saito, M.L.: 2005. 'Distribuição ambiental de poluentes orgânicos encontrados em lodos de esgotos'. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40, 9, pp. 853-860.
- Rodrigues, K.A., Sampaio, G.M.M. e Zaiat, M.; Santaella; S.T.: 2007. Influência da glicose sobre o consumo de fenol por *Aspergillus niger* em reatores embatelada. v.12, n.2, p. 222-228, abr/jun.
- Santos, I. Dos and Bettiol, W.: 2003. 'Effect of sewage sludge on the rot and seedling damping-off of bean plants caused by *Sclerotium rolfsii*'. *Crop Protection*, 22, pp.1093-1097.
- Silva I. E. C., Ludwig, K. V. F., Neumann, D., Schneider, A. C. e Onofre, S. B.: 2007. 'Fungos filamentos degradadores de compostos fenólicos isolados de águas residuais de postos de combustíveis'. *Revista de Biologia e Saúde*, Paraná: v. 1, n.1.
- Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A. and Itävaara, M.: 2000. 'Biodegradation of lignin in a compost environment: a review'. *Biores. Technol.*, [S. L.], 72, pp.169-183.
- Tsakou, A., Roulia, M. and Christodoulakis, N.S.: 2001. 'Growth of cotton plants (*Gossypium hirsutum*) as affected by water and sludge from a sewage treatment plant: II. Seed and fiber yield and heavy metal accumulation'. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, New York, 66, pp.743.
- Vassilev, N., Baca, M.T. and Vassileva, M.: 1994. 'Plant lignocellulose and decomposition by fungus: from nature to industrial use'. *Mycologist*, E.U.A, 8, pp.113-114.
- Vinciguerra, V.: 2004. 'Correlated effects effects during the bioconversion of waste olive water by *lentinus edodes*'. *Bioresoure Technology*, 51, pp.342-351.
- Winder, L. et al.: 1999. 'The tri-trophic transfer of Zn from the agricultural use of sewage sludge'. *Science Total Environmental*, 229, pp.73-81.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às instituições brasileiras de apoio à pesquisa: Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de

Nível Superior (CAPES), Programa de Cooperação Acadêmica (Capes-Procad) e Federação das Universidades Católicas (FIUC).

## **CONCLUSÕES GERAIS**

Na microbiota do lodo de esgoto existem fungos filamentosos que apresentam a habilidade de degradar substâncias tóxicas do lodo, mesmo aquelas com estruturas aromáticas mais complexas.

O lodo da Estação Mangueira se mostra com níveis de metais pesados e de patógenos (coliformes fecais) abaixo dos limites determinados pelo Conama e Cetesb, com exceção do metal manganês. Os demais metais não apresentam riscos para o meio ambiente.

Os estudos endossam o potencial biotecnológico do lodo de esgoto e sua utilização na agricultura, contribuindo assim para minimizar os impactos ambientais causados por este resíduo sólido.



## **ANEXOS**

## ANEXO 1

Tabela 1. Identificação das colônias e formação do halo (Reação de Bavendamm)

Código da Cultura/ Identificação	Halo (cm) / Tempo (dias)						Reação de Bavendamm
	1º	2º	3º	4º	5º	Média	
<b>(4) <i>Monotospora sp.</i></b>	<b>0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,9</b>	<b>2,6</b>	<b>3,6</b>	<b>1,82</b>	<b>+</b>
<b>(5) <i>Scedosporium sp.</i></b>	<b>0,7</b>	<b>0,9</b>	<b>1,7</b>	<b>2,4</b>	<b>3,3</b>	<b>1,8</b>	<b>+++</b>
<b>(8) <i>Scedosporim sp.</i></b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,7</b>	<b>0,14</b>	<b>+</b>
<b>(1) <i>Cryosporium sp.</i></b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,3</b>	<b>0,26</b>	<b>+</b>
<b>(6) <i>Cryosporium sp.</i></b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,5</b>	<b>0,3</b>	<b>++</b>
(2) <i>Cryosporium sp.</i>	0	0	0	0	0	0	-
(3) <i>Cryosporium sp.</i>	0	0	0	0	0	0	-
(2) <i>Aspergillus sp.</i>	0	0	0	0	0	0	-
(3) <i>Aspergillus sp.</i>	0	0	0	0	0	0	-
(4) <i>Aspergillus sp.</i>	0	0	0	0	0	0	-
(5) <i>Aspergillus sp.</i>	0	0	0	0	0	0	-
<b>(2) <i>Scedosporium sp.</i></b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,8</b>	<b>0,36</b>	<b>+</b>
<b>(3) <i>Scedosporium sp.</i></b>	<b>1,00</b>	<b>2,8</b>	<b>2,4</b>	<b>2,9</b>	<b>3,2</b>	<b>2,46</b>	<b>+++</b>
(8) <i>Scedosporium sp.</i>	0,6	0,6	0,6	0,7	1,5	0,8	+
<b>(9) <i>Scedosporium sp.</i></b>	<b>0</b>	<b>0,2</b>	<b>0,7</b>	<b>1,2</b>	<b>1,9</b>	<b>0,8</b>	<b>++</b>
<b>(6) <i>Scedosporium sp.</i></b>	<b>0,9</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	<b>2,4</b>	<b>2,5</b>	<b>0,8</b>	<b>++</b>
<b>(10) <i>Penicillium sp.</i></b>	<b>0</b>	<b>0,2</b>	<b>0,9</b>	<b>1,7</b>	<b>2,7</b>	<b>1,1</b>	<b>+</b>
(1) <i>Penicillium sp.</i>	0	0	0	0	0	0	-
(7) <i>Penicillium sp.</i>	0	0	0	0	0	0	-
(1) <i>Penicillium sp.</i>	0	0	0	0	0	0	-
(4) <i>Penicillium sp.</i>	0	0	0	0	0	0	-
(5) <i>Penicillium sp.</i>	0	0	0	0	0	0	-
(7) <i>Penicillium sp.</i>	0	0	0	0	0	0	-
(1) <i>Penicillium sp.</i>	0	0	0	0	0	0	-

(-): Negativo para reação; (+): Reação fraca; (++) : Reação moderada; (+++) ; Reação intensa

(0) Ausência de Halo

**ANEXO 2**

Tabela 2. Valores encontrados na análise de determinação de carbono Orgânico total três amostras do lodo de esgoto seco

<b>Análise de carbono</b>	<b>Amostras (mg/100mg de lodo)</b>			<b>Média(mg/100mg de lodo)</b>
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
Amostras	1	2	3	
Carbono Orgânico	15,71	13,10	15,54	14, 7833
Carbono Inorgânico	0	0	0	0

**ANEXO 3**

Tabela 3. Teor de metais encontrados no Lodo de Esgoto e seus respectivos limites de concentração para uso agrícola segundo CONAMA Resolução nº 375/ 2006.

METAIS AVALIADOS	TEOR ENCONTRADO (mg/kg, base seca)	VALOR LIMITE (mg/Kg)
Ca	1180 ± 0,02	-
Mg	755 ± 0,004	-
Al	14600 ± 0,3	-
Zn	600 ± 0.01	2800
Cu	909.8 ± 0.001	1500
Ni	10 ± 0,01	420
Cd	2,2 ± 0.0004	39
Fe	2390 ± 0,2	-
<b>Mn</b>	<b>189 ± 0,003</b>	<b>50</b>
Cr	22 ± 0,001	1000

**ANEXO 4**

Tabela 4. Resultado das análises de fenóis totais do lodo do lodo de esgoto

Alíquotas	Valores de fenóis totais em mg/L
1	0,211
2	0,176
3	0,209
Média	0,198

**ANEXO 5**Tabela 5. Percentual de toxicidade das amostras de lodo de esgoto com *Artemia salina*.

<b>Concentração do lodo</b>	<b>Média de <i>A. salinas</i> vivas</b>	<b>Percentual de toxicidade</b>
0% - solução salina	10	0%
10%	8,6	14%
25%	4	60%
50%	1	90%
75%	0	100%

## ANEXO 6

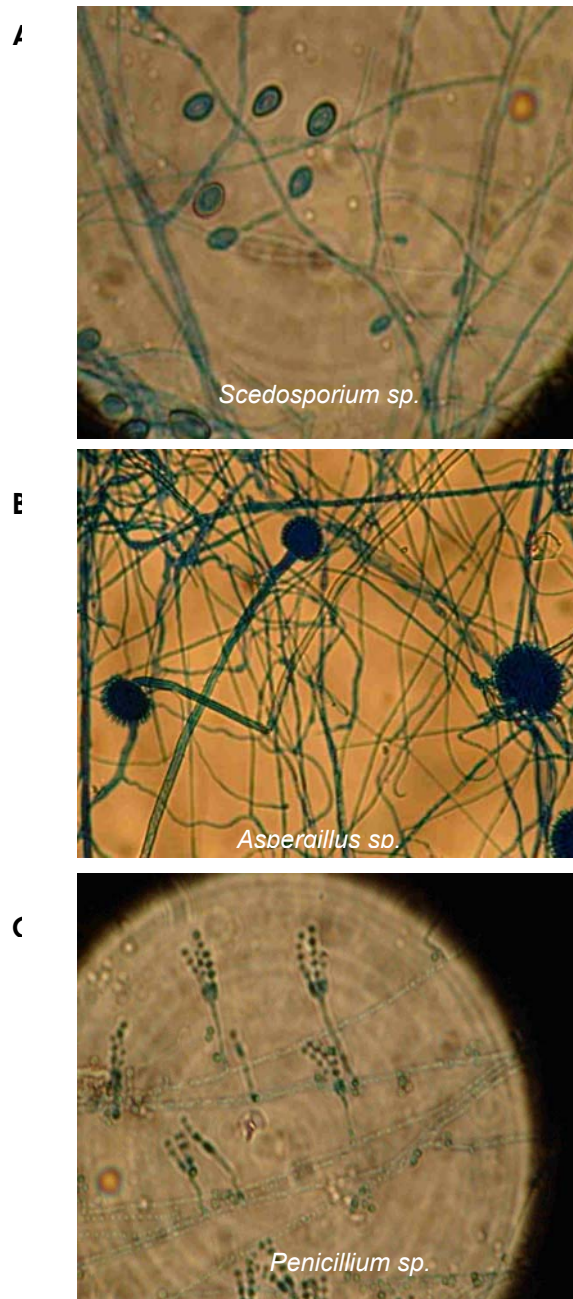
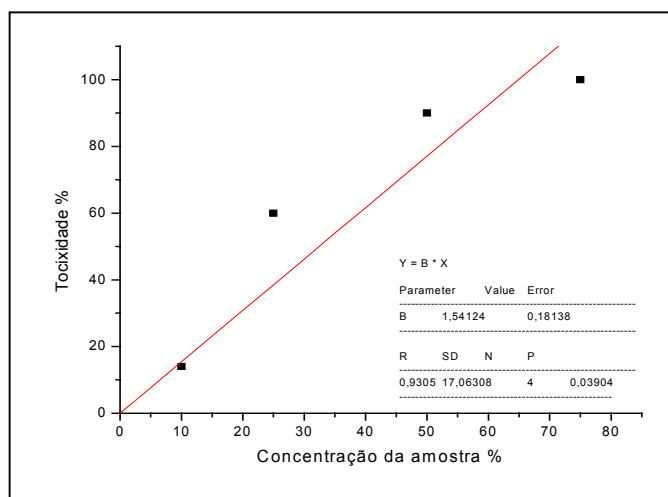


Figura 1. Características microscópicas dos fungos filamentosos isolados do lodo de esgoto da Estação Mangueira, Pernambuco, Brasil (aumento de 400x)

**ANEXO 7**Figura 2. Percentual de toxicidade do lodo com *A. salina*



## ANEXO 8



Figura 3. Eclosão da *Artemia salina* em NaCl a 37%, por 24 h a temperatura de 37°C.

## ANEXO 9

### Normas da Revista

<http://www.springerlink.com/content/p1316r577k48g625/>

### WATER, AIR, AND SOIL POLLUTION

*Information for Authors*

#### Manuscript Submission

Kluwer Academic Publishers prefer the submission of manuscripts and figures in electronic form. The preferred storage medium for your electronic manuscript is a 3 1/2 inch diskette. Please label your diskette properly, giving exact details on the name of the file(s), the operating system and software used. Always save your electronic manuscript in the wordprocessor format that you use. In general, use as few formatting codes as possible. It is important that you supply us with the latest version of your manuscript. For safety's sake, you should always retain a backup copy of your file(s) .

Kluwer Academic Publishers prefer papers submitted in word processing packages such as MS Word, WordPerfect, etc. under operating systems MS DOS, Windows and Apple Macintosh, or in the file format LaTeX. Papers submitted in any other software programs, as well as papers for conventional typesetting can also be accepted. For submission in LaTeX, Kluwer Academic Publishers have developed a special preprint LaTeX style file, KLUWER.STY, which is used for all Kluwer journals, irrespective of the publication's size or layout. The specific journal characteristics are added later during the production process. KLUWER.STY is offered at a number of servers around the world. Unfortunately, these copies are often unauthorised and authors are strongly advised not to use them. Kluwer Academic Publishers can only guarantee the integrity of style files obtained directly from us. Although KLUWER.STY is very similar to ARTICLE.STY, there are some differences. These are explained in the accompanying instruction file KAPINS.TEX. Authors can obtain KLUWER.STY and the instruction file from the Kluwer Academic Information Service (KAPIS) at the following website: <http://www.wkap.nl> Technical support on the usage of the style file is given via the email number: [texhelp@wkap.nl](mailto:texhelp@wkap.nl)

For the purpose of refereeing, papers for publication should initially be submitted in hardcopy (6fold: 1 original and 5 copies) and on diskette to:

**Journals Editorial Office, *Water, Air, and Soil Pollution*, Kluwer Academic Publishers, P.O. Box 990, 3300 AZ Dordrecht, the Netherlands.**

#### Manuscript Presentation

The journal's language is English. 'American' or 'British' English may be used. The article should, however, follow one style only. Manuscripts should be typewritten on A4 or US Letter bond paper, one side only, leaving enough margin on all sides to permit remarks by the reviewers. Please double-space all materials, including notes and references. Quoted passages of more than 40 words should be set off clearly from the text either by indenting the lefthand margin or by smaller size.

Number the pages consecutively with the first page containing the running head (shortened title), article type (if applicable), title, author(s), affiliation, full address for correspondence, including phone, fax and email number, 5 to 10 key words in alphabetical order, a short

abstract of 100 to 250 words, and abbreviations if applicable. Since the abstract and the key words will be used to select appropriate reviewers, it is essential to make them as informative as possible.

### **Figures and tables**

Kluwer Academic Publishers accept electronic submission of figures. Preferred file formats are TIFF (Tagged Image File Format) and Encapsulated PostScript (resolution between 300 and 600 dpi), but figures in other electronic formats may also be used. File names should not be longer than 8 characters. A printout of *all* figures should be supplied with the hardcopy manuscript. Submit only clear reproductions of artwork. Authors should retain original artwork until a manuscript has been accepted in its final version. All figures must be in a form suitable for reproduction (lettering must be big enough to allow for reduction). Original ink drawings or laser printer output reproduce best, but if they are not available, same-sized glossies or matt photostats are acceptable. Photographs should be in black and white on glossy paper. Computer prints are acceptable for figures only if they are done on a high-quality laserprinter.

Each figure and table should be mentioned in the text and should be numbered. On the reverse side of each figure, write in pencil the name of the (first) author and the figure number. Figures and tables should be placed at the end of the manuscript following the Reference section. The approximate position of figures and tables should be indicated in the margin of the manuscript. In tables, footnotes are preferable to long explanatory material in either the heading or body of the table. Such explanatory footnotes, identified by superscript letters, should be placed immediately below the table.

### **Section headings**

First, second, third and fourth order headings should be clearly distinguishable. Headings must be numbered (1., 1.1, 1.1.1, 2., 2.1, etc.).

### **Technical appendices**

Supplementary technical material (e.g. mathematical proofs or descriptions of experimental procedures) should be collected in an Appendix which comes before the Notes and Reference sections.

### **Notes and references**

Please use endnotes only. Be sure you do not mix note text and bibliographic information. Bibliographic information should be listed in a separate *Reference* section (see REFERENCES section for more information). Notes should be indicated by consecutive superscript numbers in the text and collected at the end of the article before the *References*. A note referring to the title of the article should be indicated by an asterisk. This note should be placed at the bottom of the first page.

### **Crossreferencing**

Please make optimal use of the crossreferencing features of your software package. Do not crossreference page numbers. Crossreferences should refer to:

- section number of a heading
- the number of a displayed equation
- the number of a table
- the number of a figure
- the number of an enunciation
- the name / year of a reference entry

In the text, a reference identified by means of an author's name should be followed by the date of the reference in parentheses and page number(s) where appropriate. If numbered references are concerned, the reference number should be enclosed within square brackets. In the event that the author has had two or more works published during the same year, the citation and the reference should contain a lower case letter like a and b after the date to distinguish the works.

*Examples:*

Winograd (1986, p. 204)  
(Winograd, 1986a)  
(Winograd, 1986b)  
(Winograd, 1986; Flores et al., 1988)  
(Bullen and Bennett, 1990)  
Winograd [1]  
Bullen and Bennett [2]

### References

References to books, journal papers, articles in collections and conference or workshop proceedings, and technical reports should be collected in a list at the end of the paper and listed in **alphabetical** order.

References to books should include the author's name; year of publication; title in full, underlined or in italics; publisher; place of publication; page numbers where appropriate. For example:

Domenico, P.A. and Schwartz, F.W.: 1990, *Physical and Chemical Hydrogeology*, John Wiley & Sons, New York, 807 pp.

References to essays in an edited collection should include the author's name; year of publication; title of essay; editor's name; title of volume, underlined or in italics; publisher; place of publication; first and last page numbers. For example:

Vaughn, J.M. and Landry, E.F.: 1983, 'Viruses in Soils and Groundwaters', in G. Berg (ed.), *Viral Pollution of the Environment*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 163-210.

References to essays in conference proceedings should include the author's name; year of publication; title of essay; editor's name; title of proceedings underlined or in italics; place and date of conference; publisher and/or organization from whom the proceedings can be obtained; place of publication; first and last page numbers.

For example:

Champ, D.R. and Schroeter, J.: 1988, 'Bacterial Transport in Fractured Rock – a Field Scale Tracer Test in the Chalk River Nuclear Laboratories', in B.H. Olson and D. Jenkins (eds.), *Proceedings of the International Conference on Water and Wastewater Microbiology*, Newport Beach, CA, USA, 8–11 February 1988, pp. 81–87.

References to articles in periodicals should include the author's name; year of publication; title of article; full or abbreviated title of periodical, underlined or in italics; volume; number where appropriate; first and last page numbers.

Sadiq, M. and Alam, I.: 1997, 'Lead Contamination of Groundwater in an Industrial Complex',

*Water, Air, and Soil Pollution* **98**, 167–177.

References to technical reports or doctoral dissertations should include the author's name; year of publication; title of article, underlined or in italics; institution; location of institution. For example:

Tingle, C.C.D.: 1985, 'Biological Control of the Glasshouse Mealybug Using Parasitic Hymenoptera', Ph.D. Thesis, Department of Biological Sciences, Wye College, University of London, 375 pp.

### **Proofs**

Proofs will be sent to the (corresponding) author. One corrected proof, together with the original, edited manuscript, should be returned to the Publishers within three days of receipt by first class mail (airmail overseas).

### **Offprints**

Authors of papers accepted for publication after January 1, 1998 will receive 50 offprints free of charge. Additional offprints can be ordered by completing and returning the offprint order form supplied with the proofs.

### **Page charges and colour illustrations**

No page charges are levied on authors or their institutions. Colour illustrations are published at the author's expense only

### **Copyright**

Copyright will be established in the name of Kluwer Academic Publishers.

### **Permissions**

It is the responsibility of the author to obtain written permission for a quotation from unpublished material, or for all quotations in excess of 250 words in one extract or 500 words in total from any work still in copyright, and for the reprinting of illustrations or tables or poems from unpublished or copyrighted material.

### **Additional information**

Additional information can be obtained from:

***Water, Air, and Soil Pollution*, Kluwer Academic Publishers, P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, the Netherlands, tel: +31(0)786392203, fax: +31(0)786392254.  
Email: AMPdeJong@wkap.nl**