

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE QUÍMICA
Programa de Pós-Graduação em Química

Marcos Gualberto da Silva

AVALIAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS
EM LODOS DE ESGOTOS PARA FINS AGRÍCOLAS

São Paulo

Data do Depósito na SPG:

14/07/2009

Marcos Gualberto da Silva

AVALIAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS EM LODOS DE
ESGOTOS PARA FINS AGRÍCOLAS

Dissertação apresentada ao Instituto de Química
da Universidade de São Paulo para
obtenção do Título de Mestre em
Química Analítica.

Orientadora: Profa. Dra. Lilian Rothschild

São Paulo

2009

Marcos Gualberto da Silva

AVALIAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS EM LODOS DE
ESGOTOS PARA FINS AGRÍCOLAS

Dissertação apresentada ao Instituto de Química
da Universidade de São Paulo para obtenção do
Título de Mestre em Química Analítica.

Aprovado em: _____

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço à CETESB, SABESP, CSJ - Jundiaí, SANEBAVI - Vinhedo, DAE – AMERICANA, e a todos que colaboraram para a realização desse trabalho.

Agradeço à Profa. Dra. Lilian Rothschild pela orientação e aprendizagem que me são transmitidos em todos os momentos.

SUMÁRIO

Resumo.....	i
Abstract.....	iii
Lista de Figuras.....	v
Lista de Tabelas.....	vi
Lista de Quadros.....	vi
Lista de Abreviaturas.....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Tratamento de esgotos.....	1
1.2 Lodo de esgoto – Conceitos e definições.....	12
1.3 Lodo de esgoto – Aplicações.....	14
1.4 Lodo de esgoto – Poluentes presentes.....	20
1.5 Legislação.....	26
1.6 Justificativa.....	30
2. OBJETIVOS	32
3. PARTE EXPERIMENTAL	33
3.1 Sítio de amostra e características da amostragem.....	33
3.2 Coleta e preservação de amostras.....	34
3.3 Análise química.....	37
3.3.1 Instrumentação analítica.....	37
3.3.2 Reagentes e materiais.....	37
3.3.3 Condição de análise.....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1 Possíveis fontes de COVs em lodo de esgoto.....	46

4.2	Determinação de COVs identificados no lodo da ETE – RMSP.....	48
4.3	Determinação de COVs no lodo da ETE - Vinhedo.....	50
4.4	Determinação de COVs no lodo da ETE - Jundiaí.....	51
4.5	Determinação de COVs no lodo da ETE - Americana.....	51
4.6	Comparação dos resultados com a literatura consultada.....	51
4.7	Comparação com a legislação.....	52
5.	CONCLUSÕES	55
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
7.	ANEXO - CURRICULUM VITAE.....	65

RESUMO

Silva, M. G. **Avaliação de compostos orgânicos voláteis em lodos de esgoto para fins agrícolas.** 2009. 65 p. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Química. Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo.

O lodo de esgoto, também denominado biossólido, depois de tratado adequadamente, constitui fonte de matéria orgânica, micro e macro-nutrientes para o crescimento das plantas. A aplicação do lodo de esgoto no solo pode trazer benefícios tais como: distribuição em áreas para produção agrícola, recuperação de solos perdidos por erosão, aplicação em áreas de reflorestamento. Os lodos de esgotos, entretanto, são resíduos que contêm patógenos, metais pesados, e poluentes orgânicos, entre estes os compostos orgânicos voláteis (COVs). A resolução CONAMA nº 375 em vigor no Brasil, assim como as regulamentações de outros países, não exigem valores limites para alguns COVs considerados prioritários.

Uma base de dados sobre COVs em lodos de esgoto é necessário para estabelecer valores limites nos lodos usados para fins agrícolas. O presente trabalho evidenciou a presença de COVs em concentrações significativas nas amostras de lodo coletadas nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), Jundiaí, Vinhedo e Americana. Na ETE da RMSP foram encontrados vários COVs em concentrações significativas. Dentre os COVs identificados, apenas 1,4-diclorobenzeno e naftaleno apresentam valores permitidos em solo agrícola (390 e 120 µg/kg, respectivamente) e valores de concentrações muito acima desses limites foram encontrados para as amostras de lodo da ETE de RMSP (845 a 2037 e 901 a 5670 µg/kg, respectivamente).

Os resultados obtidos neste trabalho, embora não forneçam dados suficientes para uma imediata tomada de decisão, permitem fornecer subsídios técnicos para iniciar uma base de dados sobre COVs em lodo de esgoto que, futuramente, utilizando-se metodologias adequadas, será útil para se realizar uma revisão das regulamentações vigentes para lodo de esgoto com finalidade agrícola.

Palavras chaves: lodo de esgoto, COVs, contaminantes orgânicos, legislação.

ABSTRACT

Silva, M. G.. 2009. 65 p. **Evaluation of Volatile Organic Compounds in Sewage Sludge for Agricultural Use.** Master's Dissertation – Graduate Program in Chemistry. Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

The sewage sludge also entitled biosolid, after adequate treatment, is source of organic matter, micro and macronutrients for plants growth. The application of sewage sludge in soil may provide some benefits like: distribution in areas for agricultural production, recovery of degraded soil by erosion, application in areas of reforestation. However, sewage sludges are residues that contain pathogens, heavy metals, organic pollutants, such as volatile organic compounds (VOCs). The current resolution in Brazil (CONAMA nº 375), as well as regulations from other countries do not establish acceptable levels for some priority VOCs.

It is necessary to establish data a base related to VOCs in sewage sludge for agricultural use to be able to present acceptable levels of them. The present work reports the presence of VOCs at significant levels in sewage sludge samples collected at sewage treatment stations (ETE) in the Metropolitan Region of São Paulo city (RMSP), Jundiaí, Vinhedo and Americana. Among VOCs identified, only 1,4 dichlorobenzene and naphthalene are regulated for use in agricultural soil (390 and 120 µg/kg, respectively) and levels found for sewage sludge samples from RMSP–ETE were higher than those regulated limits (845 to 2037 and 901 to 5670 µg/kg, respectively).

Although results obtained in this study do not provide enough data for an immediate decision, results will be useful to start a data base regarding to VOCs in

sewage sludge for agricultural use that, using adequate methodologies, will permit a review of current regulations on VOCs for agricultural use.

Key-words: sewage sludge, VOCs, organic contaminants, legislation.

Lista de figuras

Figura 1: Composição média do esgoto doméstico.....	2
Figura 2: Etapas do tratamento de esgotos.....	8
Figura 3: Alternativas de disposição final para o lodo digerido e desidratado.....	15
Figura 4: Local de coleta de lodo na ETE da RMSP.....	35
Figura 5: Local de coleta na ETE de Vinhedo.....	35
Figura 6: Local de coleta na ETE de Jundiaí.....	36
Figura 7: Leiras de secagem de lodo na ETE de Jundiaí.....	36
Figura 8: Cromatograma típico de padrões de COVs.....	42
Figura 9: Cromatograma de uma amostra de lodo de esgoto.....	43
Figura 10: Espectro de massas do 1,4-diclorobenzeno.....	43
Figura 11: Concentração dos COVs encontrados nos lodos de esgoto.....	49
Figura 12: Concentração do tolueno em relação aos outros COVs.....	50

Lista de Tabelas

Tabela 1: Destinação de lodos de esgotos em países da Europa Ocidental.....	18
Tabela 2: Produção e disposição de lodo nos EUA.....	19
Tabela 3: Substâncias orgânicas e faixas de concentração em lodos de esgoto.....	23
Tabela 4: Concentrações permitidas de substâncias orgânicas em solos.....	28
Tabela 5: Datas e locais de amostragem.....	34
Tabela 6: Condições de análise para o GC-MS.....	39
Tabela 7: Condições de análise para o amostrador <i>headspace</i>	40
Tabela 8: Coeficientes de determinação dos COVs analisados	42
Tabela 9: Valores dos íons quantificadores, LQ e LD dos COVs.....	45
Tabela 10: Concentrações encontradas na ETE da RMSP.....	49
Tabela 11: COVs e faixas de concentrações no lodo na literatura.....	54

Lista de Quadros

Quadro 1: Doenças de veiculação hídrica (via oral) e agentes causadores.....	4
Quadro 2: Principais microorganismos presentes no lodo de esgoto.....	6
Quadro 3: Principais características do catabolismo oxidativo e fermentativo.....	7

Lista de Abreviaturas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

EPA – *U.S. Environmental Protection Agency*

PTFE – Politetrafluoretileno

GC-MS – Cromatografia a gás com detector de espectrometria de massas

HS – *Headspace* estático

ETE – Estação de tratamento de esgotos

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

COVs – Compostos orgânicos voláteis

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

CFR – Code of Federal Regulations

CEPA – *Canadian Environmental Protection Act*

RMSP – Região Metropolitana de São Paulo

WHO – *World Health Organization*

US EPA – *United States Environmental Protection Agency*

USP – Universidade de São Paulo

UGRHI – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

1. INTRODUÇÃO

1.1. Tratamento de esgotos

O conceito de contaminação e poluição indica quando ocorre a presença de substâncias tóxicas e organismos patogênicos que oferecem riscos à saúde da população e meio ambiente. A contaminação das águas pela presença de diversos organismos como bactérias, protozoários, vermes, vírus, chamados de patógenos, traz conseqüências indesejáveis para a saúde pública e econômica e maior incidência de doenças, aumento da mortalidade infantil, redução de produtividade, redução de vida média e aumento dos custos hospitalares (JORDÃO, CONSTANTINO, 2005).

O termo “esgoto” é utilizado para caracterizar os despejos provenientes das diversas modalidades do uso e origem das águas, como as de uso doméstico, comercial, industrial, de utilidades públicas, de áreas agrícolas, de superfície, de infiltração, e outros efluentes sanitários. Por esgoto também se entende como sendo toda água residuária, isto é, a água utilizada em atividades domésticas ou industriais, que é lançada nos sistemas de captação de esgotos e em seguida levada para ETEs ou lançada diretamente nos corpos hídricos receptores (rios, córregos, represas, lagos) (TSUTIYA M. T. ET AL, 2001).

Os esgotos costumam ser classificados em dois grupos principais: os sanitários e os industriais.

Os esgotos sanitários constituem-se essencialmente de despejos domésticos, uma parcela de águas pluviais, águas de infiltração e uma parcela não significativa de despejos industriais. Provêm principalmente de residências, edifícios, condomínios, escolas, comércios, e edificações que tenham instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas, Compõe-se da água de banho, lavagem das

mãos, escovação dos dentes, lavagem das louças, das roupas, de urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes, produtos de higiene pessoal, produtos farmacêuticos (remédios, drogas, hormônios) e outros produtos diversos (JORDÃO, CONSTANTINO, 2005; CONN, K. E. et al. 2006; SABESP, 2006).

A Figura 1 mostra a composição média do esgoto doméstico.

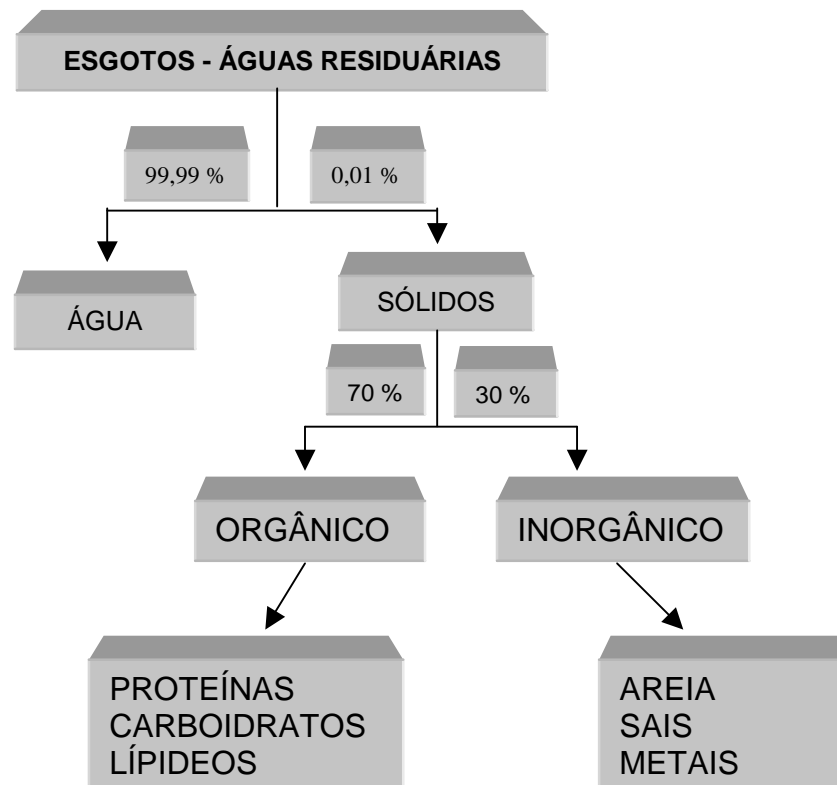


Figura 1: Composição média do esgoto doméstico (TSUTIYA M.T. et al., 2001)

Os esgotos industriais, muito diversos, provêm de qualquer utilização da água para fins industriais, e têm características próprias em função do processo industrial empregado. Até a década de 80, relativamente pouco se conhecia sobre a diversidade de substâncias orgânicas sintéticas, que estão presentes nos esgotos a serem tratados, a eficiência com a qual elas são

degradadas durante os processos de tratamento do esgoto e lodo e suas concentrações no lodo final para disposição (ROGERS, H. R. 1996).

Lançamentos de fontes pontuais, industriais ou de fábricas, e lançamentos difusos de estabelecimentos domésticos e comerciais, ou que se originam das águas que escorrem superficialmente devido a chuvas e enxurradas seguida de deposição aérea, contribuem para o aumento dos contaminantes orgânicos nos esgotos (ROGERS, H. R. 1996).

Além da classificação principal em esgotos sanitários e industriais, podem também ser classificados em pluviais, agropecuários e hospitalares.

Os esgotos agropecuários são esgotos gerados nas atividades agrícolas, como a criação de animais (fezes de bois, cavalos, porcos, aves, etc.) e do processamento industrial da cana-de-açúcar para a produção de álcool combustível que gera o vinhoto, um dos maiores poluentes conhecidos. Os esgotos agropecuários também contêm os agrotóxicos utilizados na lavoura e pecuária como: inseticidas, fungicidas, acaricidas, nematicidas, bactericidas, herbicidas, vermífugos, além de solventes, tintas, lubrificantes, e produtos para limpeza e desinfecção de estábulos. Os fertilizantes também estão presentes, e após lançados ao solo, muitas vezes em excesso, alcançam os corpos d'água, seja como irrigação de retorno, ou como água de escoamento superficial após as chuvas.

Os esgotos hospitalares são os efluentes de hospitais, clínicas, postos de saúde, laboratórios e outras unidades de saúde, que possam gerar águas residuárias contaminadas com germes patogênicos (UFRRJ, 2009).

O lançamento indiscriminado de esgotos domésticos, sem tratamento, ou mesmo tratados, mas sem desinfecção adequada, nos corpos d'água,

contribui com uma quantidade significativa de agentes específicos das doenças de veiculação hídrica. As principais doenças de veiculação hídrica, por via oral, e os agentes causadores estão mostrados no Quadro 1.

Quadro 1: Doenças de veiculação hídricas (via oral) e agentes causadores

Doença	Agente
Febre tifóide	<i>Salmonella Typhi</i>
Febre paratifóide	<i>Salmonella Paratyphi</i>
Cólera	<i>Vibrio Cholerae</i>
Desintéria bacilar	<i>Shigella</i>
Desintéria amebiana	<i>Entamoeba Histolytica</i>
Hepatite infecciosa	vírus da hepatite
Poliomielite	vírus da poliomielite; e outros

Fonte: Adaptado de (JORDÃO, CONSTANTINO, 2005)

No caso de transmissão por contato direto, a doença do tipo cutânea mais importante e difundida é a esquistossomose (“*Schistosoma Mansoni*”), que constitui no Brasil um dos graves problemas de saúde pública (JORDÃO, CONSTANTINO, 2005). Uma importante revisão histórica de tratamento de esgotos está referenciada em SILVA, E. R. 1998.

Um sistema qualquer de esgotos sanitários encaminha seus efluentes, direta ou indiretamente, para corpos d’água receptores. A capacidade receptora destas águas, em harmonia com sua utilização, estabelecem o grau de condicionamento a que deverá ser submetido o efluente sanitário, de modo que o corpo d’água receptor não sofra alterações nos parâmetros de qualidade fixadas para a região de lançamento, ou trecho do corpo hídrico receptor (JORDÃO, CONSTANTINO, 2005; CONAMA ⁽¹⁾ Resolução nº 357, 2005).

Os condicionamentos aplicados aos esgotos são chamados de processos de tratamento, e são formados por uma série de operações unitárias,

empregadas para a remoção de substâncias indesejáveis, ou transformação destas substâncias em outras de forma mais aceitáveis em uma estação de tratamento de esgotos (ETE). No tratamento de esgotos ocorre uma interação de vários mecanismos, alguns ocorrendo simultaneamente e outros seqüencialmente. A atuação dos microorganismos começa no próprio sistema de coleta e interceptação de esgotos, e atinge seu máximo na ETE.

As mais importantes destas operações unitárias são: troca de gás, gradeamento, desinfecção, oxidação biológica, sedimentação, flotação, coagulação química, precipitação química, filtração.

O tratamento biológico de esgotos, como o nome indica, ocorre inteiramente por mecanismos biológicos. Estes processos reproduzem, de certa maneira, os processos naturais que ocorrem em um corpo d'água após o lançamento de despejos. No corpo d'água, a matéria orgânica é convertida em produtos mineralizados inertes, por mecanismos naturais, caracterizando o chamado fenômeno de "*autodepuração*" (VON SPERLING, M. 2006). Em uma estação de tratamento de esgotos os mesmos fenômenos básicos ocorrem, mas com tecnologia que tem como objetivo fazer com que o processo de depuração se desenvolva em condições controladas e taxas mais elevadas. A compreensão da microbiologia do tratamento dos esgotos, é essencial para a otimização do projeto e operação dos sistemas de tratamento biológicos. Os principais organismos envolvidos no tratamento dos esgotos são as bactérias, protozoários, fungos, algas e vermes. Destes, as bactérias são as mais importantes na estabilização da matéria orgânica (VON SPERLING, M. 2006). O Quadro 2 mostra um resumo das características das bactérias, protozoários e fungos.

Quadro 2: Principais microorganismos presentes no lodo de esgoto, de importância no Tratamento biológico.

Microorganismo	Descrição
Bactérias	<ul style="list-style-type: none"> • Organismos unicelulares • Várias formas e tamanhos • Principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica • Algumas são patogênicas causando principalmente
Protozoários	<ul style="list-style-type: none"> • Organismos unicelulares sem parede celular • A maioria é aeróbia ou facultativa • Alimentam-se de bactérias, algas e outros microorganismos • Essenciais no tratamento biológico para a manutenção de equilíbrio entre os diversos grupos • Alguns são patogênicos
Fungos	<ul style="list-style-type: none"> • Organismos aeróbios, multicelulares, não fotossintéticos, heterotróficos • De grande importância na decomposição da matéria orgânica • Podem crescer em condições de baixo pH

Fonte: Adaptado de (METCALF & EDDY, 2003).

A remoção da matéria orgânica dos esgotos pelos microorganismos, ocorre através do “*catabolismo*”, onde reações de degradação dos substratos produzem energia que é utilizada para o “*anabolismo*”, que são as reações de formação do material celular (crescimento). Os dois tipos de catabolismo de interesse no tratamento dos esgotos são o catabolismo oxidativo e fermentativo. O catabolismo oxidativo é uma reação redox na qual a matéria orgânica é

oxidada por um agente oxidante presente no meio que pode ser oxigênio, nitrato ou sulfato. No catabolismo fermentativo não há um oxidante, o processo ocorre devido a um rearranjo dos elétrons na molécula fermentada e se formam no mínimo dois produtos. Nesse caso, há necessidade de várias fermentações seqüenciais para que os produtos se tornem estabilizados. O Quadro 3 mostra as principais características dos catabolismos oxidativo e fermentativo.

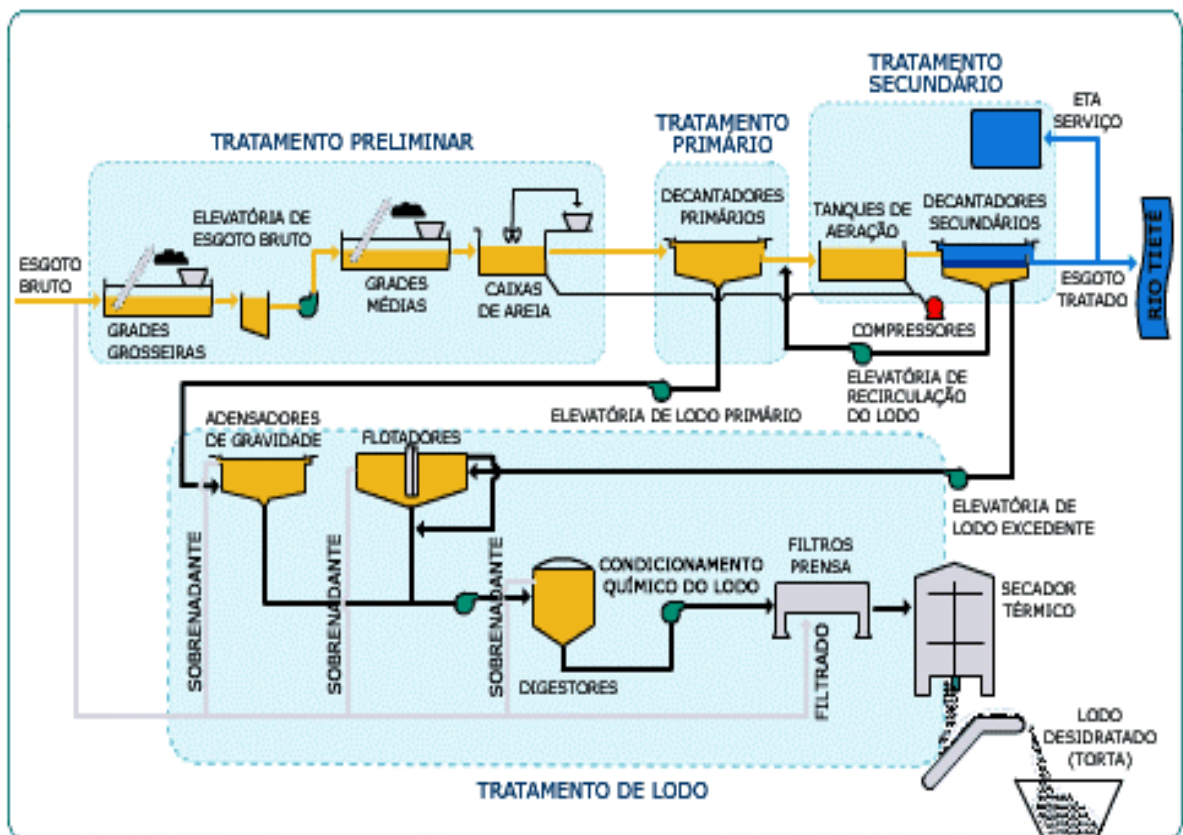
Quadro 3: Principais características dos catabolismos oxidativo e fermentativo

Característica	Catabolismo oxidativo	Catabolismo fermentativo
Doador de elétrons	Matéria orgânica	Matéria orgânica fermentada
Receptor de elétrons	Externo: composto inorgânico como oxigênio, nitrato ou sulfato	Interno: matéria orgânica reduzida
Número de produtos finais resultantes da matéria orgânica	Um produto o CO ₂	No mínimo dois CO ₂ e CH ₄
Forma do carbono no produto final	Carbono inorgânico oxidado	Carbono inorgânico oxidado (CO ₂) mais Carbono orgânico reduzido (CH ₄)
Estado de oxidação do carbono no produto final	+4 (CO ₂)	+4 (CO ₂) -4 (CH ₄)

(VON SPERLING, M. 2006)

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), o método utilizado nas grandes estações de tratamento de esgoto é o de “lodos ativados”. Lodo ativado é o floco produzido em um esgoto bruto ou decantado pelo crescimento de bactérias zooglúias, ou outros organismos na presença de oxigênio dissolvido, e acumulados em concentração suficiente, graças ao retorno de outros flocos previamente formados. Esse processo originou-se na Inglaterra em 1913. Trata-se de um processo biológico onde o esgoto afluyente e o lodo ativado são

intimamente misturados, agitados e aerados em unidades chamadas de tanques de aeração, para logo após se separar os lodos ativados do esgoto por sedimentação em decantadores (JORDÃO, CONSTANTINO, 2005). A maior parte do lodo ativado assim separado retorna para o processo, enquanto uma parcela menor é retirada para tratamento específico. A Figura 2 mostra as principais etapas do tratamento do esgoto por lodos ativados (Sabesp).



Fonte: SABESP

Figura 2: Etapas do tratamento de esgotos

1.1.1. Tipos de tratamento

Lodos Ativados

Processo de tratamento constituído por uma fase líquida e uma fase sólida que compreende o lodo no qual se concentram microorganismos na forma de flocos.

Esses flocos são continuamente recirculados e colocados em contato com a matéria orgânica dos esgotos, promovendo sua decomposição, sempre com a presença de oxigênio em unidades denominadas tanques de aeração.

Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (RAFA) ou (UASB)

É um reator fechado. O tratamento biológico ocorre por um processo anaeróbio e a decomposição da matéria orgânica é feita por microorganismos presentes em um manto de lodo. O esgoto sai da parte inferior do reator e passa pela camada de lodo que atua como se fosse um meio filtrante. A eficiência atinge de 65 a 75% e, por isso, necessita de um tratamento complementar que pode ser feito através da lagoa facultativa. É um mecanismo compacto e de fácil operação.

Lagoa Facultativa

É formada por lagoas que têm de 1,5 a 3 metros de profundidade. O termo “facultativo” refere-se à mistura de condições aeróbias e anaeróbias. Em lagoas facultativas, as condições aeróbias são mantidas nas camadas próximas da superfície, enquanto as condições anaeróbias predominam no sentido do fundo da lagoa.

Embora parte do oxigênio necessário para manter as camadas aeróbias superiores seja fornecida pela re-aeração atmosférica na superfície, a maior parte é suprida pela atividade fotossintética das algas, que crescem naturalmente nas águas onde estão disponíveis grandes quantidades de nutrientes e energia da luz solar incidente.

As bactérias existentes nas lagoas utilizam o oxigênio produzido pelas algas para oxidar a matéria orgânica. Um dos produtos finais do metabolismo bacteriano é o gás carbônico, que é imediatamente utilizado pelas algas na sua fotossíntese.

Neste tipo de tratamento, grande parte do volume de lodo é reduzida, e o sistema é adequado para comunidades pequenas, geralmente situadas no interior do Estado.

Lagoa Anaeróbia

Por anaeróbia, entende-se o processo de tratamento sem utilização do oxigênio. Nesse caso, as lagoas são profundas, entre 3 e 5 m, para reduzir a penetração de luz nas camadas mais profundas. Além disso, é lançada uma grande carga de matéria orgânica por unidade de volume da lagoa, para que o oxigênio consumido seja várias vezes maiores que o produzido, tornando a produção de oxigênio pela fotossíntese e pela re-aeração atmosférica desprezível, e dessa forma garantindo a condição anaeróbia.

O tratamento ocorre em duas etapas:

Na primeira há conversão da matéria orgânica complexa através da quebra das moléculas em estruturas mais simples. Na segunda fase, a matéria orgânica é convertida em metano, gás carbônico e água. Neste caso, o carbono é removido do meio líquido porque o metano passa para a atmosfera.

Lagoa Aerada

Neste tipo de tratamento o processo necessita de oxigênio, e a profundidade das lagoas varia de 2,5 a 4 m. Os aeradores servem para garantir oxigênio no meio e manter os sólidos em suspensão e dispersos no meio líquido. A qualidade do esgoto proveniente da lagoa aerada não é adequada para lançamento direto no corpo hídrico receptor pelo fato de conter elevados teores de sólidos.

Por essa razão, estas lagoas são normalmente seguidas por outras, onde a sedimentação e estabilização (transformação da matéria orgânica em gás carbônico e metano) destes sólidos possam ocorrer.

Esta técnica assemelha-se aos tanques de aeração dos sistemas de lodos ativados. A diferença é que não ocorre recirculação de sólidos, característica essencial do sistema de lodos ativados.

Baias e Valas de Infiltração

Trata-se de um tratamento complementar que consiste na passagem do esgoto num meio filtrante, instalado no solo e formado por pedregulho e areia. Por ser um processo complementar, ele é combinado com outros tipos de tratamentos.

Flotação

Trata-se de um processo físico-químico que conta com a presença de um coagulante para a formação de flocos de sujeira. Com isso eles ficam mais concentrados e são removidos de forma mais simples. Para auxiliar o tratamento, a água é pressurizada com objetivo de formar bolhas que atraem as partículas. Desta forma se favorece a suspensão dos flocos. O lodo formado é retirado por uma ponte raspadora e enviado a uma estação de tratamento de esgotos.

Lagoa de Maturação

São lagoas de baixa profundidade, entre 0,5 e 2,5 m que possibilitam a complementação de qualquer outro sistema de tratamento de esgotos. Ela faz a remoção de bactérias e vírus de forma mais eficiente devido à incidência da luz solar, já que a radiação ultravioleta atua como um processo de desinfecção

(SABESP, 2008; FLORÊNCIO, L., BASTOS, R. K. X., AISSE M. M., 2006; SPERLING, M. V., 2006).

1.2. Lodo de esgoto – Conceitos e definições

O tratamento dos esgotos gera uma quantidade significativa de subprodutos sólidos. Como subprodutos principais têm-se os sólidos grosseiros retidos no gradeamento, areia, espuma e o lodo. O lodo é o principal subproduto sólido, e a quantidade produzida por uma ETE depende do tipo de sistema de tratamento utilizada para a fase líquida. Os sólidos removidos por sedimentação nos decantadores primários constituem o lodo primário. O lodo secundário ou biológico compreende a biomassa de microorganismos aeróbios gerados a partir da remoção da matéria orgânica (alimento) presente nos esgotos. Essa biomassa está em constante crescimento devido à entrada contínua de matéria orgânica nos reatores biológicos. Para manter o sistema em equilíbrio, aproximadamente a mesma massa de sólidos biológicos deve ser removida do sistema. A mistura do lodo primário com o lodo secundário gera o lodo misto, o qual deve ser submetido a etapas de estabilização antes de sua disposição (CASSINI, S. T., 2003).

Esse lodo deve ter destinação final segura e adequada em razão das implicações sanitárias e possíveis impactos ambientais negativos. É visível o aumento da conscientização da sociedade para as questões ambientais e, também, o aumento das exigências dos órgãos de controle ambiental pela preservação do meio ambiente, qualidade de vida e bem estar social. Nas regiões com alta densidade populacional é maior o volume de lodos gerados durante os processos de tratamento nas ETEs, situação esta que assume destaque nas ações de controle da

poluição ambiental. Além disso, existem custos elevados para o gerenciamento, processamento e disposição final dos lodos produzidos (ANDREOLI C. V., 2006).

Lodo de esgoto é considerado o resíduo produzido pelo processo de tratamento das águas residuárias, durante o qual líquido e sólido são separados. Os líquidos são lançados em meio aquoso e os sólidos são removidos para posterior tratamento e disposição (FYTILI D.; ZABANIOTOU A., 2008).

Lodo de esgoto é o resíduo gerado nos processos de tratamento de esgoto sanitário (CONAMA ⁽²⁾, Resolução nº 375). Lodos de esgotos são resíduos sólidos, semi-sólidos ou líquidos, gerados durante o tratamento de esgotos domésticos em uma estação de tratamento. Quando tratados e processados, o lodo de esgoto é denominado “biossólido”, o qual pode ser reciclado de um modo seguro e aplicado como adubo para melhorar e manter a sustentabilidade dos solos, e estimular o crescimento das plantas (US EPA ⁽¹⁾, 40 CFR 503, 1997). Biossólidos são ricos em matéria orgânica e nutrientes, e a sua reciclagem através da aplicação em solos tem sido defendida como uma maneira de se evitar custos ambientais e econômicos (BRIGHT, D.A.; HEALEY N., 2003).

A matéria orgânica dos biossólidos favorece a formação de agregados, facilitando a penetração das raízes e a vida microbiana. Também previne a erosão por aumentar a capacidade de retenção da água no solo. Os biossólidos contêm macronutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e micronutrientes como cobre, zinco, manganês, boro, molibdênio e cloro (TSUTIYA M.T. et al., 2001).

Lodo de esgoto é uma matriz muito complexa que resulta dos tratamentos primários e secundários a que os esgotos são submetidos nos sistemas de tratamento. O conteúdo orgânico principal origina-se de fezes humana, sendo uma

mistura complexa de gorduras, proteínas, carboidratos, lignina, aminoácidos, açúcares, celuloses, materiais húmicos e ácidos graxos. E também uma grande parte dessa matéria orgânica está na forma de microorganismos vivos e mortos, que proporcionam uma grande superfície de sorção para os resíduos orgânicos hidrofóbicos (ROGERS, H. R., 1996).

1.3. Lodo de esgoto - Aplicações

O lodo de esgoto final obtido tem características que dependem do tipo de esgoto (afluente), do processo e grau de tratamento, do tipo de lodo tratado (primário, secundário, terciário), etc. Para cada processo adotado na estação de tratamento de esgoto (ETE), o lodo pode ser submetido a diferentes tipos de adensamento, estabilização, condicionamento e desidratação antes de sua disposição final. De modo geral, a estabilização é feita para redução de massa, controle de odor e redução de microorganismos patogênicos, e o adensamento, o condicionamento, a desidratação e a secagem, para remoção de água, redução de volume e possível redução de massa. A destinação final de biossólido é função do processo de tratamento do lodo, do seu condicionamento, da desidratação, da quantidade e qualidade produzida pela ETE. A Figura 3 mostra alternativas de disposição final, considerando o lodo submetido ao processo de digestão anaeróbia e desidratação mecânica (TSUTIYA M. T. et al., 2001).

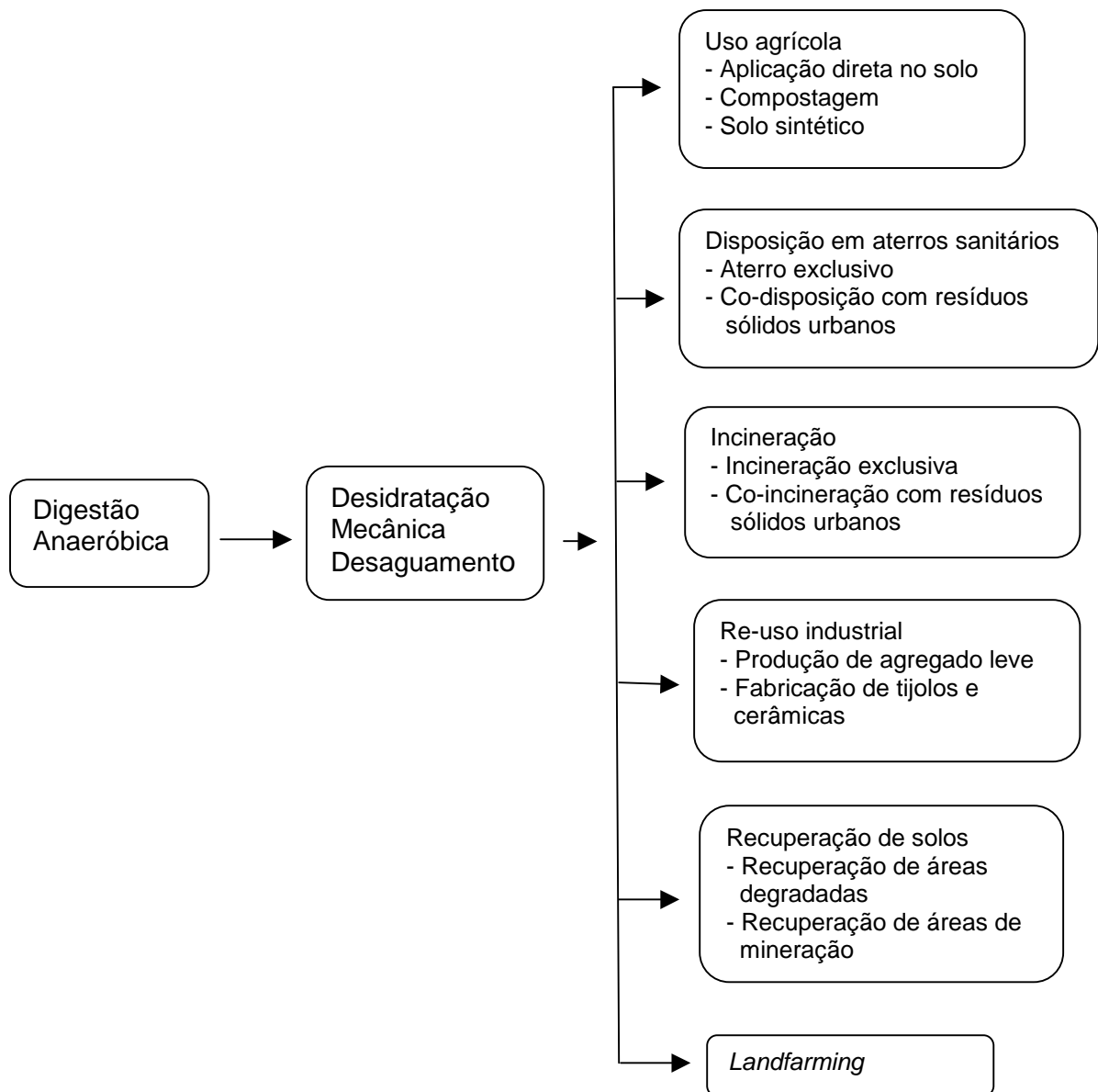


Figura 3: Alternativas de disposição final para o lodo digerido e desidratado (TSUTIYA, M. T. et al., 2003).

Dentre os compartimentos de um agroecossistema, o solo é em última instância aquele que depois de submetido à degradação, pode determinar o comprometimento da integridade do agroecossistema. As características dos solos degradados são a alta deficiência de matéria orgânica, nutrientes e atividade biológica. O lodo de esgoto com sua composição química, capacidade de infiltração, aeração, retenção de água e melhorador da formação de agregados, torna-se um resíduo com grande potencial para recuperação de solos

degradados (ANDREOLI, C. V., 2006). A utilização de lodo de esgoto é recomendada para culturas de milho, trigo, cana-de-açúcar, sorgo, frutíferas, e espécies florestais para recuperação de áreas degradadas (BARBOSA, G. M. C.; FILHO, J. T., 2006).

Países fortemente desenvolvidos e industrializados, destinam atualmente grande parte dos resíduos provenientes do tratamento de esgotos para áreas agrícolas e florestais. Uma das alternativas para a utilização do lodo de esgoto tratado (biossólido) é sua aplicação em plantações florestais, que se destinam à produção de madeira. Na Europa, América do Norte e Austrália, existem diversos trabalhos publicados que demonstram maior incremento volumétrico das espécies florestais, principalmente do gênero “Pinus”, tratadas com lodo de esgoto (WEETMAN et al., 1993; POLGLASE & MYERS, 1995; KAPOSTS et al., 2000). Em 1998 um grupo de pesquisadores da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz (ESALQ-USP) iniciou as primeiras pesquisas em campo sobre a aplicação de lodo de esgoto (biossólidos) em culturas florestais no Brasil. O trabalho de Poggiani & Benedetti (1999) resume o programa de pesquisa desse grupo e mostra os vários subprojetos desenvolvidos para verificar a viabilidade ecológica, silvicultura e econômica da utilização do biossólido em cultura de eucaliptos (ANDREOLI, C. V., 2006).

Em 1993, nos Estados Unidos, a produção de lodo foi estimada em 6,2 milhões de toneladas e com projeção de atingir 12 milhões no ano 2000 (ANDREOLI, C. V. 2006).

Entre as diversas alternativas existentes para utilização e disposição dos lodos de esgoto, a mais adequada e promissora também do ponto de vista econômico, é a utilização agrícola, não só pelo potencial condicionador e/ou

fertilizante do solo, mas também pelo fato dos solos possuírem em geral, um elevado poder de depuração. A disposição de biossólidos nos solos agrícolas ou florestais como fonte de nutrientes para as plantas ou condicionador das propriedades dos solos, tem sido prática em muitos países sendo um dos procedimentos mais adequados e econômicos para a reciclagem deste tipo de resíduo (TSUTIYA M. T. et al., 2001).

A utilização do lodo de esgoto em solos agrícolas tem como principais benefícios, a incorporação dos macronutrientes (nitrogênio e fósforo) e dos micronutrientes (zinco, cobre, ferro, manganês, e molibdênio). Como os lodos de esgotos são pobres em potássio esse elemento necessita ser adicionado na forma de adubos minerais (BETTIOL W., CAMARGO O., 2006).

A Tabela 1 mostra a disposição do lodo de esgoto em alguns países da Europa Ocidental (WHO, 2002). Outros métodos de disposição incluem reflorestamento, silvicultura, recomposição de áreas degradadas.

A Tabela 2 mostra a produção de lodo de esgoto e seus métodos de disposição nos Estados Unidos.

Na Austrália foram produzidos anualmente cerca de 250.000 ton.(peso seco) de biossólidos, dos quais cerca de metade ou um terço se destinaram a utilização em terras. Diferenças na extensão da aplicação em terras existem entre os diversos estados (CSIRO, 2005).

Tabela 1: Destinação do lodo de esgoto em países da Europa Ocidental.

País	Quantidade 10 ³ Ton / Ano	Método de disposição como % do total produzido			
		Agricultura	Aterro	Incineração	Outros
Áustria	320	13	56	31	0
Bélgica	75	31	56	9	4
Dinamarca	130	37	33	28	2
França	700	50	50	0	0
Alemanha Occidental	2.500	25	63	12	0
Grécia	15	3	97	0	0
Irlanda	24	28	18	0	54
Itália	800	34	55	11	0
Luxemburgo	15	81	18	0	1
Holanda	282	44	53	3	0
Portugal	200	80	13	0	7
Espanha	280	10	50	10	30
Suécia	215	50	30	20	0
Reino Unido	1.075	51	16	5	28
Total	6.631	38	43	10	9

Fonte: WHO, 2002

Tabela 2: Produção e disposição de lodo de esgoto nos Estados Unidos.

Região	Quantidade Ton/ano (peso seco)	Método de disposição como % do total			
		Aplicação na terra	Disposição superficial	Incineração	Outros
Connecticut, Maine, Massachusetts, New Hampshire, Rhode Island, Vermont	367.430	24	46	30	-
New Jersey, New York, Porto Rico	605.046	30	14	23	33
Dalaware, Maryland, Pennsylvania, Virginia, West Virginia, Washington D.C.	1.040.206	74	16	10	<1
Alabama, Florida, Georgia, Kentucky, Mississippi, North Carolina, South Carolina, Tennessee	1.050.326	57	30	12	1
Illinois, Indiana, Michigan, Minnesota, Ohio, Wiscosin	1.705.316	51	2	30	17
Arkansas, Louisiana, Oklahoma, New Mexico, Texas	425.203	53	45	2	-
Colorado, Montana, North Dakota, S. Dakota, Utha, Wyoming	111.880	68	29	0	3
Arizona, California, Hawaii, Nevada	819.050	51	36	4	7
Alaska, Idaho, Oregon, Washington	220.00	89	2	9	-

Fonte: WHO, 2002

1.4. Lodo de esgoto – Poluentes presentes

Apesar da tendência mundial de se aplicar lodo na agricultura para a fertilização do solo e obtenção de benefícios agrícolas, é preocupante o desconhecimento de sua constituição química e características toxicológicas, o que pode vir a afetar a saúde pública e a biota exposta a contaminantes perigosos, que possam estar presente nessa matriz ambiental (UMBUZEIRO, G. A., 2009).

Quando o lodo contendo poluentes tóxicos é incorporado ao solo, estes podem ser absorvidos pelas plantas, que são capazes de biotransformá-los e/ou acumulá-los em seus tecidos, e conseqüentemente, atingir o homem e/ou outros animais no momento do consumo. Esses compostos tóxicos podem também ser carregados, atingindo águas subterrâneas ou corpos d'água superficiais por meio da chuva (UMBUZEIRO, G. A., 2009).

A planta retira do solo os elementos minerais indispensáveis para o crescimento, eles são denominados macronutrientes (N, P, K, S, Ca, Mg) e micronutrientes (B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Na, Se, Zn) e além destes elementos que são essenciais, a planta pode absorver outros metais pesados (Al, Ag, Cd, Cr, Hg, Pb). O biossólido além de ser uma fonte de matéria orgânica e nutrientes também pode contribuir para a contaminação do solo com metais pesados (TSUTIYA M. T. et al., 2001).

BRIGHT D. A.; HEALEY N., 2003 encontraram em biossólidos os elementos: As, Ba, Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Mo, Ni, Se, Ag, Sn, Zn e também compostos orgânicos como: voláteis halogenados e não halogenados, ésteres do ácido ftálico, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, clorofenóis, hidrocarbonetos de petróleo, dioxinas e furanos.

Durante o processamento e transporte para aplicação agrícola, os indivíduos que manejam esse lodo também estão expostos a esses contaminantes via inalação, absorção dérmica e eventual ingestão. Existem evidências epidemiológicas de efeitos à saúde, associadas com a produção e aplicação de biossólidos pelos trabalhadores e população potencialmente exposta (*National Research Council, NRC, 2002*).

O lodo de esgoto contém grande variedade de microorganismos, sendo que a maior parte deles são saprófitas (ou decompositores), que se alimentam de matéria orgânica morta, transformando em matéria inorgânica simples que podem ser aproveitadas por outros seres como as plantas. Esses saprófitas ou decompositores participam nos processos de tratamentos biológicos dos esgotos. Existe uma menor parte de microorganismos constituída por vírus, bactérias, fungos, protozoários e helmintos que são patogênicos. (TSUTIYA M. T. et al., 2003). As patologias causadas por esses microorganismos são variáveis, podendo se apresentar na forma de simples diarreia até gastroenterite severa, hepatites, meningites, infecções respiratórias, alterações neurológicas (neurocisticercose), dentre outras. Em relação aos patógenos presentes no lodo, estudos epidemiológicos tem mostrado que, os ovos de helmintos, os cistos de protozoários, vírus e as bactérias, representam riscos para a saúde humana, entretanto, a simples presença desses patógenos no lodo não garante a infecção de humanos e animais, pois para ocorrer infecção nos hospedeiros, estes agentes patogênicos devem estar presentes em uma dose mínima (TSUTIYA M. T. et al., 2003).

Os lodos de esgoto contêm nutrientes e matéria orgânica que podem prover benefícios aos solos, mas também contêm contaminantes incluindo metais, patógenos, e poluentes orgânicos entre os quais se encontram os compostos

orgânicos voláteis (COVs). O destino dos contaminantes químicos presentes nos esgotos que entram numa estação de tratamento, depende da natureza do contaminante e do processo de tratamento. Substâncias orgânicas podem ser volatilizadas, degradadas (através de processos bióticos e/ou abióticos), adsorvidas no lodo, ou descartadas no efluente tratado (HARRISON E. Z. et al., 2006). A degradação resulta na formação de outros produtos que podem ser mais ou menos tóxicos que o composto original. Para muitas substâncias orgânicas hidrofóbicas a adsorção no lodo de esgoto é a rota primária para sua remoção das águas residuárias e esgotos. Isso é especialmente correto para substâncias tóxicas persistentes e bioacumulativas que podem estar presentes nas águas residuárias. Mesmo substâncias voláteis, como o benzeno, são freqüentemente encontradas em lodo de esgoto como resultado de adsorção na matriz do lodo (HARRISON, E. Z. et al., 2006; WILSON et al. 1994).

ROGERS H. R., 1996, descreve as fontes, comportamento e destino dos seguintes contaminantes orgânicos encontrados em lodos de esgoto: pesticidas organoclorados e bifenilas policloradas, clorofenóis e clorofenoxiácidos, compostos organofosforados, nitrosaminas e compostos nitroaromáticos, óleos minerais, alquilfenóis, lipídios, acrilamida (monômero da poliacrilamida), ésteres de ftalatos, compostos organometálicos de estanho, surfactantes e resíduos semelhantes, clorobenzenos, dibenzodioxinas policloradas (PCDDs) e dibenzofuranos policlorados (PCDFs), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, e substâncias químicas farmacêuticas.

CAI, Q. Y. et al. 2007, relata a ocorrência em lodos de esgotos dos contaminantes orgânicos: ésteres do ácido ftálico, clorobenzenos, nitroaromáticos,

haloéteres, hidrocarbonetos halogenados, e outros compostos como, azobenzeno, isoforona, 2-cloronaftaleno e difenilamina.

HARRISON, E. Z., et al. (2006) reporta muitas substâncias orgânicas e suas faixas de concentrações que foram encontradas em lodos de esgoto. A Tabela 3 mostra algumas dessas substâncias que são consideradas compostos orgânicos voláteis (COVs).

Tabela 3: Substâncias orgânicas e faixa de concentração encontrada em lodos de esgoto.

Clorados e alifáticos de cadeia curta	Faixa mg/kg peso seco	Nº CAS
Acrilonitrila	0,0363 – 82,3	107-13-1
1,3-Hexaclorobutadieno	ND – 8	87-68-3
Dissulfeto de carbono	ND – 23,5	75-15-0
Hexacloroetano	0,00036 – 61,5	67-72-1
Monocloroetano	ND – 24	75-00-3
Pentacloroetano	0,0003 – 9,2 g	76-01-7
Tetracloroetano	< 0,1 – 5,0	
1,1,1,2-Tetracloroetano		630-20-6
1,1,2,2-Tetracloroetano		79-34-5
Tricloroetano (isômeros)	ND – 33	
1,1,1-Tricloroetano		71-55-6
1,1,2-Tricloroetano		79-00-5
Dicloroetano	< 0,01 – 865	156-59-2
Monocloroetano	< 0,025 - 110	75-01-4
Tetracloroetano	ND - 50	127-18-4
Tricloroetano	ND – 125	79-01-6
Diclorometano	ND – 262	75-09-2
Monoclorometano	ND – 30	74-87-3
Tetraclorometano	ND - 60	56-23-5
Triclorometano	ND - 60	67-66-3
Tricloropropano	0,00459 – 19,5	96-18-4
Tricloropropeno	< 0,0010 - 167	96-19-5
Clorobenzenos		
Isomêros do Diclorobenzeno	ND - 1650	
1,2-Diclorobenzeno		95-50-1
1,3-Diclorobenzeno		541-73-1
1,4-Diclorobenzeno		106-46-7
Hexaclorobenzeno	ND - 65	118-74-1
Monoclorobenzeno	ND – 846	108-90-7
Pentaclorobenzeno	< 0,005 - < 0,01	608-93-5

Fonte: Adaptado de HARRISON, E. Z. et al., 2006.

ND: Não detectado

Tabela 3: Substâncias orgânicas e faixa de concentração encontrada em lodos de esgoto (continuação).

Clorobenzenos	Faixa mg/kg peso seco	Nº CAS
Isomêros do Triclorobenzeno	ND - 184	
1,2,3-Triclorobenzeno		87-61-6
1,3,5-Triclorobenzeno		108-70-3
1,2,4-Triclorobenzeno		120-82-1
Isomêros do	< 0,001 – 0,22	
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno		95-94-3
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno		634-90-2
1,2,3,4,-Tetraclorobenzeno		634-66-2
Hidrocarbonetos monocíclicos e heterocíclicos		
Benzeno	ND – 11,3	71-43-2
Etilbenzeno	ND -65,5	100-41-4
Estireno	ND – 5850	100-42-5
Tolueno	ND - 1180	108-88-3
Isomêros do Xileno	ND – 6,91	
o-Xileno		95-47-6
m-Xileno		108-38-3
p-Xileno		106-42-3

Fonte: Adaptado de E.Z. HARRISON et al 2006.

ND : Não detectado

HARRISON, E. Z. et al. (2006) também reporta que foram encontradas nos lodos de esgoto outras classes de substâncias orgânicas como: retardante de chamas, nitrosaminas, substâncias farmacêuticas e de higiene pessoais, pesticidas, fenóis, plastificantes e ésteres de ftalato, naftalenos, bifenilas policloradas, dioxinas e furanos, hidrocarbonetos aromáticos polinucleares, estrogêneos, esteróis, estanóis, surfactantes, e alquil/triarilfosfatos ésteres.

WILSON S. C. et al, 1994 analisou lodos de esgotos (digeridos) e encontrou compostos orgânicos como: 1,1-dicloroetano, 1,2-dicloroetano, 1,2-dicloroetano, clorofómio, 1,1,1-tricloroetano, tricloroetileno, 1,1,2-tricloroetano, tetracloroeto de carbono, tetracloroetileno, 1,1,2,2-tetracloroetano, benzeno, tolueno, etilbenzeno, m,p-xileno, o-xileno.

O'CONNOR G. A., 1996 relata as seguintes substâncias orgânicas tóxicas presentes no lodo de esgoto: ésteres de ftalato, hidrocarbonetos aromáticos polinucleares, bifenilas polihalogenadas, pesticidas clorados, fenóis, voláteis, aminas alquiladas.

Foram realizadas análises de poluentes orgânicos em biossólidos produzidos em ETEs da RMSP e entre vários compostos foram encontrados: pireno, antraceno, 2-clorofenól, 1,3-diclorobenzeno, 1,4-diclorobenzeno, 1,2-diclorobenzeno, fenantreno, naftaleno, 1,2,4-triclorobenzeno, 2,4-dinitrofenol e outros (TSUTIYA M. T. et al., 2003).

Dos trabalhos consultados observa-se que entre os poluentes presentes nos lodos de esgoto e biossólidos encontram-se muitos compostos orgânicos voláteis (COVs) considerados poluentes prioritários e tóxicos pela *U.S. Environmental Protection Agency (USEPA)* e *Canadian Environmental Protection Act (CEPA)*.

Segundo a *EPA* COVs são emitidos como gases a partir de certos sólidos ou líquidos. Inclui uma variedade de produtos químicos, alguns dos quais podem ter efeitos adversos à saúde, a longo ou curto prazo. Eles são emitidos por uma extensa lista de produtos entre milhares. Exemplos incluem tintas e vernizes, produtos de limpeza, pesticidas, materiais para móveis e construção, produtos para impressoras e copiadoras, fluidos corretivos, materiais gráficos e para artesanato, como adesivos, colas, marcadores de tinta, e soluções para fotografias. Substâncias orgânicas são extensamente utilizadas como ingredientes de produtos domésticos, tintas, vernizes e ceras todos contêm solventes, assim como muitos produtos de limpeza, desinfetantes, cosméticos, repelentes, aromatizantes ambientais, e desengraxantes (EPA). Todos esses

produtos após seus diversos usos podem se incorporar aos esgotos e águas residuárias e se acumular nos lodos de esgotos de uma ETE.

A norma D3960-90 ASTM (USA) define COV como um composto orgânico com pressão de vapor superior a 13,3 Pa a 25 °C.

O “*Australian National Pollutant Inventory*”(ANPI) define COV como qualquer composto constituído de cadeias carbônicas ou anéis com pressão de vapor superior a 0,01 kPa a 293,15 K (20°C).

A “Directiva 2004/42/CE” do Parlamento Europeu define COV como um composto orgânico cujo ponto de ebulição inicial, à pressão normal de 101,3 kPa, seja inferior ou igual a 250 °C.

Trabalhos realizados em diferentes partes do mundo mostram que os lodos de esgotos e bissólidos podem conter muitos poluentes orgânicos, entre eles alguns COVs (HARRISON, E. Z., et al. 2006).

1.5. Legislação

Em 1993, o *US EPA* ⁽¹⁾ publica o *40 CFR (Code of Federal Regulations) Part 503* onde estabelece os padrões norte americanos para uso e disposição de lodos produzidos por estações de tratamento municipais, nessa regra não foram incluídos contaminantes orgânicos devido à ocorrência de um ou mais dos seguintes critérios:

- A substância não estava mais sendo utilizada e/ou fabricada nos EUA
- A substância foi detectada em 5% ou menos dos lodos testados pelo “Levantamento Nacional de Lodos de Esgotos de 1988”.
- A substância tem um índice de perigo igual ou maior que um.

Em 1986, o Conselho Diretor da Comunidade Econômica Européia promulgou a Directiva 86/278/EEC para a proteção do ambiente, e em particular do solo, quando lodo de esgoto é utilizado na agricultura. Essa diretiva estabelece limites de concentração dos metais pesados nos solos e no lodo de esgoto, assim como a dose máxima de aplicação anual.

No Brasil, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) apresenta a Instrução Normativa nº 23 (31/08/2005) onde aprova as definições e normas sobre as especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Nessa instrução normativa, o lodo de esgoto é definido como fertilizante orgânico composto, proveniente do sistema de tratamento de esgotos sanitários, que resulte em produto de utilização segura na agricultura, atendendo aos limites estabelecidos para contaminantes, sendo classificado como fertilizante orgânico classe “D”.

A Resolução CONAMA ⁽²⁾ nº 375 (29/08/2006), define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgotos, gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Na Tabela 4 encontram-se os valores permitidos de algumas substâncias orgânicas em solos agrícolas.

Tabela 4: Concentrações permitidas de substâncias orgânicas em solos agrícolas.

Substância	Concentração permitida no solo	
	(mg/kg) ¹	
Benzenos Clorados		
1,2-Diclorobenzeno	0,73	
1,3-Diclorobenzeno	0,39	
1,4-Diclorobenzeno	0,39	
1,2,3-Triclorobenzeno	0,01	
1,2,4-Triclorobenzeno	0,011	
1,3,5-Triclorobenzeno	0,5	
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	0,16	
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	0,01	
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	0,0065	
Ésteres de Ftalato		
Di-n-Butil ftalato	0,7	
Di (2-etilhexil)ftalato	1	
Dimetil ftalato	0,25	
Fenóis não clorados		
Cresóis	0,16	
Fenóis clorados		
2,4-Diclorofenol	0,031	
2,4,6-Triclorofenol	2,4	
Pentaclorofenol	0,16	
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos		
Benzo(a)antraceno	0,025	
Benzo(a)pireno	0,052	
Benzo(k)fluoranteno	0,38	
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	0,031	
Naftaleno	0,12	
Fenantreno	3,3	
Lindano	0,001	

Fonte: Resolução CONAMA nº 375. ⁽¹⁾ Peso seco.

No Estado de São Paulo, a CETESB ⁽¹⁾ estabeleceu a norma P4.230 de agosto/1999:

“Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação”. Esta norma estabelece os procedimentos, critérios e requisitos para a elaboração de projetos, implantação e operação de sistemas de aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico de despejos

líquidos sanitários ou industriais, em áreas agrícolas, visando atendimento de exigências ambientais. Esta norma valeu até 1º de março de 2008, data de início para os projetos de aplicação de lodos no solo agrícola se adequarem à resolução CONAMA ⁽²⁾ nº 375. Também no Estado de São Paulo, a CETESB ⁽³⁾, 2005, através da Decisão de Diretoria nº 195 – 2005 – E, estabelece valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Nessa decisão são definidos:

- Valor de referência de qualidade: é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea, que define um solo como limpo ou a qualidade natural da água subterrânea.

-Valor de prevenção: é a concentração da substância, acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea. Deve ser utilizado para disciplinar a introdução de substâncias no solo e, quando ultrapassado, a continuidade da atividade será submetida a nova avaliação.

-Valor de intervenção: é a concentração da substância no solo ou água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana. A área será considerada como área contaminada quando for constatada a presença de contaminantes acima desses valores.

A norma norte americana *EPA 40 CFR Part 503* (1997), a norma CETESB P4.230 (1999), e a Resolução CONAMA nº 375 (2006), recomendam os processos de redução de patógenos em função da classificação do bio sólido. As normas *EPA 40 CFR Part 503* e P 4.230 CETESB também estabelecem limites para algumas substâncias inorgânicas. A Resolução CONAMA ⁽²⁾ nº 375 inclui grupos de substâncias orgânicas potencialmente tóxicas a serem determinadas no lodo de esgoto (bio sólido/produto derivado) e no solo.

No Canadá uma parte importante da legislação ambiental federal está no “*Canadian Environmental Protection Act*”, 1999 (CEPA), que entrou em vigor em março de 2000, com objetivos de prevenir e proteger o meio ambiente e a saúde humana.

1.6. Justificativa

Substâncias orgânicas sintéticas nos efluentes ou esgotos podem estar presentes na solução ou sorvidas nos sólidos como consequência de suas naturezas hidrofóbicas/lipofílicas, resultando em um enriquecimento de sólidos no lodo de esgoto em concentrações de várias ordens de grandeza maiores do que o esgoto que entra para ser tratado (afluente). O destino dessas substâncias orgânicas, incluindo os COVs, seguido da disposição do lodo de esgoto, é uma preocupação frequente, e há uma exigência de que essas informações sejam baseadas em termos de concentração de compostos específicos nos lodos, a fim de avaliar o impacto ambiental de determinadas formas de disposição e destinação dos lodos de esgoto (ROGERS, H.R., 1996).

Segundo LATURNUS, F. et al. 2007, o montante anual de lodo de esgoto produzido na Europa vai aumentar devido a maiores volumes de água potável de qualidade exigidos por uma crescente população e também devido a um aumento da demanda de limpeza dos esgotos. Aplicação de lodo de esgoto em solos agrícolas é sustentável e econômico devido à reciclagem dos nutrientes e destinação final dos lodos de esgotos. No entanto, essa solução envolve riscos com respeito à ocorrência de contaminantes orgânicos e outros conteúdos prejudiciais, como patógenos e metais pesados. Qualquer conclusão sobre o uso

seguro de lodo de esgoto na agricultura deve ser feita cuidadosamente porque os estudos realizados até o momento são limitados (LATURNUS, F. et al. 2007).

A aplicação de lodo de esgoto em terras agrícolas pode acarretar em um aumento na concentração de COVs no solo a níveis que eventualmente podem causar preocupação para a saúde humana e o meio ambiente. Vários COVs são tóxicos e alguns são considerados carcinogênicos, mutagênicos e teratogênicos (WILSON, S. C. et al., 1994; ROGERS, H. R., 1996; WILSON, S. C., 1996).

No Brasil a Resolução CONAMA ⁽²⁾ n° 375 exige a determinação de algumas substâncias tóxicas no lodo de esgoto, produto derivado e no solo, mas não inclui alguns COVs considerados prioritários e tóxicos que possuem características de persistência e bioacumulação. Essas substâncias estão presentes em lodos de esgotos para fins agrícolas (E.Z. HARRISON et al. 2006).

Existem preocupações que contaminantes orgânicos, incluindo vários COVs, possam acumular-se no solo, serem absorvidos pelas plantas e transferidos para humanos via cadeia alimentar (LATURNUS, F. et al. 2007).

HARRISON, E. Z. et al. 2006, realizou uma revisão ampla sobre estudos de contaminantes orgânicos em lodos de esgoto e observou que as regulamentações exigem a redução de patógenos e o monitoramento de alguns metais antes da aplicação de lodo de esgoto na terra. Recomendações de avaliações para substâncias orgânicas, entretanto ainda não são consideradas. Substâncias presentes em elevadas concentrações no lodo de esgoto e este aplicado repetidas vezes no solo, pode comprometer as propriedades do mesmo.

Para a utilização dos lodos de esgotos para fins agrícolas deve-se incluir o monitoramento de poluentes orgânicos nas recomendações feitas por órgãos governamentais de proteção ambiental.

2. OBJETIVOS

Determinar COVs em lodo de esgoto produzido em algumas ETEs no Estado de São Paulo para avaliar o seu potencial no uso agrícola e na recuperação de solos.

Comparar as concentrações determinadas com valores encontrados na literatura.

Fornecer subsídios técnicos para avaliação do impacto ambiental do uso do lodo de esgoto tratado na agricultura e outras aplicações.

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1. SÍTIO DE AMOSTRA E CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRAGEM

As amostras foram coletadas nas estações de tratamento de esgotos da RMSP, Vinhedo, Jundiaí e Americana. Nas estações de tratamento a coleta foi realizada após o lodo produzido passar por um processo de remoção de água (chamado desaguamento) que é o momento em que ele fica pronto para ser encaminhado para um aterro ou outros fins, entre estes o uso agrícola. Todas essas ETE's estão inseridas em bacias hidrográficas e Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs). A ETE da RMSP está inserida na UGRHI 6 - Alto Tietê, e faz parte das vinte concessionárias que realizam o serviço de coleta e/ou tratamento de esgotos. As outras estão na UGRHI 5 – Piracicaba, Capivari e Jundiaí, e também fazem partes de vinte concessionárias que realizam o serviço de coleta e/ou tratamento de esgotos (CETESB ⁽²⁾ 2008).

O período de amostragem foi de agosto/2006 a dezembro/2008. Foram coletadas no total 20 amostras de lodo.

Na Tabela 4 são mostradas as datas, locais, nº de amostras e o corpo hídrico receptor do efluente originado do esgoto tratado. A ETE de Barueri teve o maior nº de amostras coletadas (12 amostras).

Tabela 5: Datas e locais de amostragem.

Data	Local	Nº de amostras de lodos	Corpo Receptor do efluente tratado
14/dezembro/2006	ETE RMSP	03	Rio Tietê
06/fevereiro/2007	ETE RMSP	03	Rio Tietê
13/março/2007	ETE RMSP	03	Rio Tietê
15/maio/2007	ETE RMSP	03	Rio Tietê
02/julho/2007	ETE Vinhedo	03	Rio Capivari e Ribeirão dos Pinheiros
02/julho/2007	ETE Jundiaí	03	Rio Jundiaí
21/janeiro/2008	ETE Americana	02	Rio Piracicaba
Total de amostras		20	

3.2. COLETA E PRESERVAÇÃO DE AMOSTRAS

Visando coletar uma quantidade representativa do lodo foram feitas coletas em pontos diferentes da pilha de lodo no local. Foram coletadas amostras simples e não compostas, pois estas são preparadas misturando-se lodos de pontos diferentes da pilha e nesse processo de mistura ocorrem perdas significativas dos compostos orgânicos voláteis. Para coletar o lodo da pilha foram removidas as camadas mais superficiais do resíduo e recolhidas camadas mais profundas. As camadas superficiais perdem mais COVs por volatilização. O lodo foi coletado utilizando-se uma pá e colocado em frasco de vidro de cor âmbar e boca larga com mínimo de volume morto. Em seguida o frasco foi tampado e colocado em caixa de isopor com gelo. Ao chegar ao laboratório foi preservado em geladeira a 4°C (ABNT NBR 10007:2004).

As Figuras 4 - 7 mostram os locais de coleta das amostras de lodo nas ETEs.



Figura 4: Local de coleta na ETE da RMSP após o processo de desaguamento em filtros prensas de placas o lodo final produzido vai para uma esteira que o descarrega nesse pátio de onde é recolhido para destinação final.



Figura 5: Local de coleta na ETE de Vinhedo, o lodo é prensado na esteira para desaguar e cai em caçamba para ser transportado para destinação final.



Figura 6: Local de coleta na ETE de Jundiaí, última leira de secagem onde é depositado o lodo antes de ser enviado para destinação final.



Figura 7: Leiras de secagem onde são levados os lodos após passarem pelo processo de desaguamento feito em centrífugas na ETE de Jundiaí.

3.3. ANÁLISE QUÍMICA

3.3.1. Instrumentação Analítica

As análises dos compostos orgânicos voláteis em amostras de lodo e efluentes líquidos foram realizadas pela técnica de cromatografia gasosa (CG), utilizando-se um cromatógrafo da Hewlett Packard (HP) modelo 6890, com coluna capilar de sílica fundida e fase estacionária de cianopropilfenil (6%) e dimetilpolisiloxano (94%), SPB-624, de 60 m comprimento, 0,25 mm de diâmetro interno e 1,4 µm de espessura de filme (fase estacionária). Foi utilizado o detector de espectrometria de massas (MS) modelo 5973 e um amostrador do tipo *headspace* estático (HSS) modelo HP 7694, acoplado ao CG-MS.

3.3.2. Reagentes e Materiais

3.3.2.1. Solução de padrões internos (Supelco) na concentração de 2000 µg/l, contendo 04 analitos: pentafluorbenzeno, 1,4-difluorbenzeno, 1,4-diclorobenzeno-d₄, clorobenzeno-d₅, em metanol.

3.3.2.2. Solução de *surrogate* (padrões de recuperação) na concentração de 2000 µg/l contendo 03 analitos: dibromofluormetano, tolueno-d₈, p-bromofluorbenzeno, em metanol.

3.3.2.3. Solução de padrão de cloreto de vinila na concentração de 2000 µg/l, em metanol.

3.3.2.4. Solução de mistura de padrões contendo 52 COVs na concentração de 2000 µg/l, em metanol.

3.3.2.5. 1,3,5-triclorobenzeno sólido (Riedel de Häen).

3.3.2.6. Metanol grau resíduo de orgânicos (Mallinckrodt).

3.3.2.7. Sulfato de amônio P.A. (Merck).

3.3.2.8. Água destilada, deionizada.

3.3.2.9. Terra de jardim peneirada e calcinada a 400 °C por 24 h e areia de construção lavada, seca peneirada e calcinada a 350 °C por 24 h. Estas são as matrizes de sedimento recomendadas pela metodologia (EPA 8260 e 5021) para estudos de fortificação dos COVs em resíduos e matrizes sólidas.

3.3.2.10. Conjunto de peneiras em aço inox, com tamanhos de aberturas de 2 mm, 850 µm, 500 µm.

3.3.3. Condição de Análise

3.3.3.1. Cromatografia a gás (GC) com detector de espectrometria de massas (MS) e sistema *headspace*.

Os COVs foram analisados pela técnica de GC com detector de massas MS, acoplado a um amostrador *headspace* do tipo estático (*HSS*), conforme metodologias da USEPA, métodos 8260B e 5021A.

As condições de análises no GC-MS acoplado ao *HS* estão descritas nas tabelas 6 e 7.

Tabela 6: Condições de análises para o CG e o detector de espectrometria de massas.

Coluna	Capilar de sílica fundida: SPB 624 60 m x 0,25 mm X 1,4 µm Fase: 6% cianopropilfenil 94% dimetil polisiloxano
Equipamento	GC – 6890 HP - Agilent
Gás de arraste	Hélio 5,0
Fluxo do gás	1,00 ml/min
Injetor	PTV – 250 °C
Razão de split	50 : 1
Condições de temperatura do forno	
Temperatura inicial	45°C por 4.00 min
Programa 1	4 °C/min até 200 °C
Temperatura final 1	200 °C por 4,25 min
Programa 2	10 °C/min até 220 °C
Temperatura final 2	220 °C por 1,00 min
Tempo total da corrida	55 min
Tempo de pós corrida	5,00 min
Temperatura de pós corrida	240 °C
Detector	Modelo HP 5973 - Agilent
Temperatura do detector de massa	230 °C

Tabela 7: Condições de análises para o amostrador *headspace* (HSS).

Temperatura do forno	85 °C
Temperatura da válvula	100 °C
Temperatura da linha de transferência	120 °C
Tempo do ciclo do GC	65 min
Tempo de equilíbrio da amostra	30.0 min
Tempo de pressurização do <i>vial</i>	0,10 min
Tempo de enchimento do <i>loop</i>	0,15 min
Tempo de equilíbrio do <i>loop</i>	0,05 min
Tempo de injeção	1,00 min
Tempo de estabilização do forno	1,00 min
Agitação	alta

3.3.3.2. Preparação da amostra

Uma massa de 2g de lodo é pesada no frasco (*vial* de *headspace*) contendo 2g do sal sulfato de amônio, e adiciona-se 10g de água destilada, deionizada e fervida. Esse sal é chamado de modificador de matriz cuja função é aumentar a temperatura de ebulição da água e promover uma melhor volatilização dos analitos orgânicos para a fase de vapor denominada “*headspace*”. Em seguida, o frasco (*vial*) é lacrado com tampa de alumínio com abertura e septo de silicone faceado com *PTFE*, e colocado no amostrador *HSS*.

3.3.3.3. Identificação e quantificação no GC-MS

Depois de alcançadas as condições de análise, é estabelecido o equilíbrio entre a fase gasosa contendo os analitos orgânicos e a fase aquosa ou sólida da amostra. Os compostos orgânicos são então introduzidos no CG, através da linha de transferência (*transfer line*) que conecta o *HSS* ao cromatógrafo a gás.

A identificação dos compostos foi feita por comparação dos tempos de retenção e espectros de massas dos analitos e os espectros de massas de padrões da biblioteca NIST do programa que faz as aquisições de dados do CG.

A quantificação foi feita através de curva de calibração, utilizando-se o método de padronização interna. O padrão interno é uma substância que apresenta características semelhantes a do analito, e pode ser detectada separadamente. Nesse método uma concentração conhecida do padrão interno é adicionada às soluções de calibração, gerando um fator de resposta (RF), do mesmo modo, o padrão interno também é adicionado na amostra a ser analisada. Através desse fator de resposta é calculada a concentração do analito na amostra. O fator de resposta é dado pela seguinte equação:

$$RF = \frac{\text{Área do analito (curva)} \times \text{Conc. do Padrão interno}}{\text{Área do Padrão interno} \times \text{Conc. do analito (curva)}} \quad (\text{equação 1})$$

A concentração do analito na amostra é dada pela equação:

$$\text{Conc. do analito} = \frac{\text{Área do analito (curva)} \times \text{Conc. do Padrão interno}}{\text{Área do Padrão interno} \times RF} \quad (\text{equação 2})$$

Os níveis de concentração das soluções de padrões em µg/kg foram: 10, 20, 40, 100, 200, 375, 750, e 1000 µg/kg. Foi utilizado um padrão contendo uma mistura de 52 COVs, em metanol. Na Tabela 8 estão listados os COVs analisados com os respectivos valores dos quadrados do coeficiente de correlação de *Pearson* ou coeficientes de determinação (R^2).

Tabela 8: Coeficientes de determinação dos COVs analisados

COV	R ²	COV	R ²	COV	R ²
1,1-Dicloroetano	0,998	1,1,2-Tricloroetano	0,999	1,3,5-Trimetilbenzeno	1,000
Diclorometano	0,997	Tetracloroetano	1,000	1-Cloro-4-Metilbenzeno	1,000
trans-1,2-Dicloroetano	0,999	1,3-Dicloropropano	1,000	terc-Butilbenzeno	1,000
1,1-Dicloroetano	0,998	Dibromoclorometano	1,000	1,2,4-Trimetilbenzeno	1,000
2,2-Dicloropropano	0,994	1,2-Dibromoetano	1,000	sec-Butilbenzeno	1,000
cis-1,2-Dicloroetano	0,998	Clorobenzeno	1,000	1,3-Diclorobenzeno	1,000
Bromoclorometano	0,996	1,1,1,2-Tetracloroetano	1,000	p-Isopropiltolueno	0,999
Clorofórmio	0,998	Etilbenzeno	1,000	1,4-Diclorobenzeno	0,999
1,1,1-Tricloroetano	0,999	m,p-Xileno	1,000	n-Butilbenzeno	0,999
1,1-Dicloro-1-Propeno	0,999	o-Xileno	1,000	1,2-Diclorobenzeno	0,999
Tetracloro de Carbono	0,999	Estireno	1,000	1,2-Dibromo-3-Cloropropano	0,997
Benzeno	0,998	Bromofórmio	0,999	1,3,5-Triclorobenzeno	0,995
1,2-Dicloroetano	0,998	Isopropilbenzeno	1,000	1,2,4-Triclorobenzeno	0,992
Tricloroetano	1,000	1,1,2,2-Tetracloroetano	0,998	Hexaclorobutadieno	0,997
1,2-Dicloropropano	1,000	Bromobenzeno	1,000	Naftaleno	0,993
Dibromometano	0,999	1,2,3-Tricloropropano	1,000	1,2,3-Triclorobenzeno	0,997
Bromodiclorometano	1,000	n-Propilbenzeno	1,000		
Tolueno	1,000	1-Cloro-2-Metilbenzeno	1,000		

A Figura 8 mostra um cromatograma típico de uma mistura de padrões de COVs.

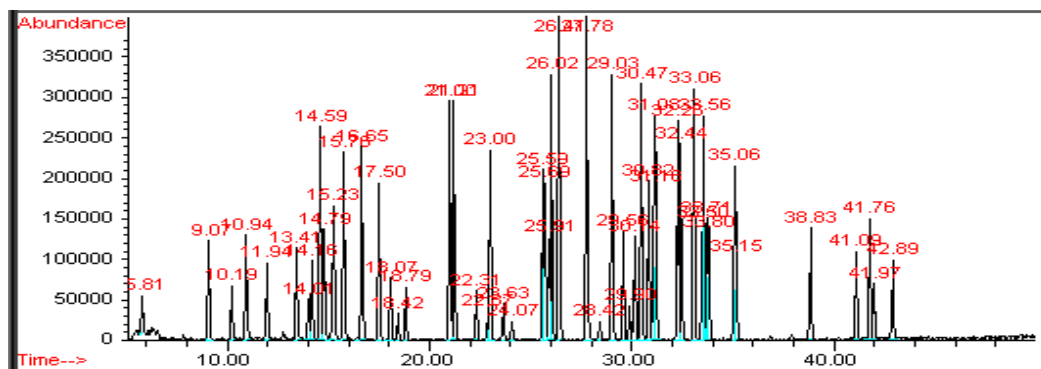


Figura 8: Cromatograma típico de padrões de COVs.

A Figura 9 mostra o cromatograma de uma amostra de lodo de esgoto (RMSP-ETE).

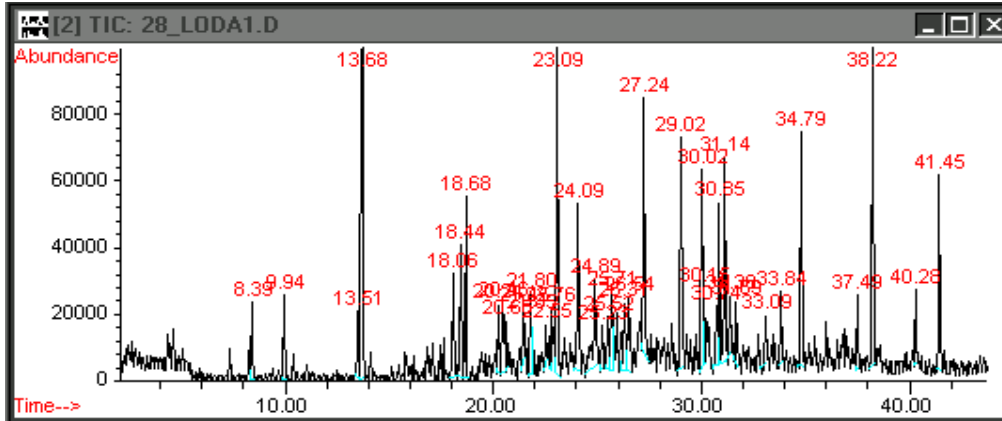


Figura 9: Cromatograma de uma amostra de lodo de esgoto.

A Figura 10 mostra o espectro de massas do 1,4-diclorobenzeno.

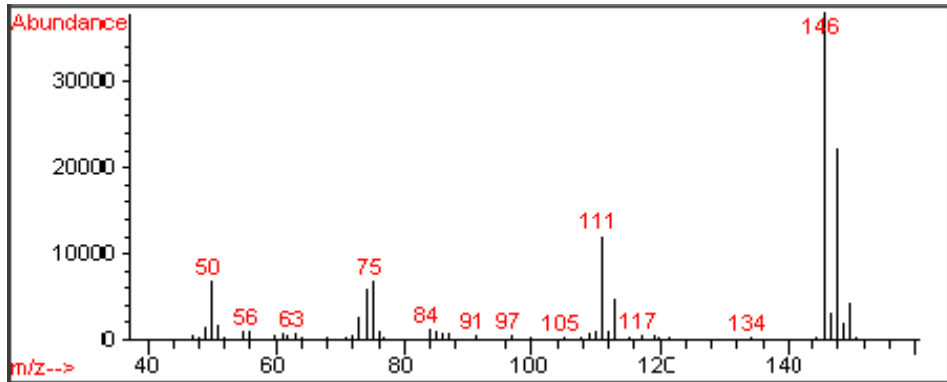


Figura 10: Espectro de massas do 1,4-diclorobenzeno.

3.3.3.4. Cálculo dos limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) do método.

O limite de detecção do método (LD) é definido como a concentração mínima de uma substância medida e quantificada com grau de confiança 95% ou 99% de que a sua concentração é maior que zero. O limite de quantificação do método (LQ), é a menor concentração da substância que pode ser determinada com um nível aceitável de exatidão e precisão. É considerado a média do branco mais 5, 6 ou 10 vezes o desvio padrão.

Foi utilizada uma solução de concentração de 125 µg/kg para o cálculo do LD e LQ do método sendo efetuadas sete (7) análises seguidas para realizar o cálculo que foi feito no programa “Excel”.

Para sete análises utiliza-se o “t” de *student* de 7-1, ou seja, o “t” de 6 que para um grau de confiança de 99% é 3,143. As equações 3 e 4 mostram o cálculo para o LD e o LQ.

Limite de detecção do método:

$$LD = t(n-1) \times SD \quad (\text{equação 3})$$

“t” = valor para (n-1) análises, no caso = 3,143

SD = desvio padrão

O LQ pode ser de 3 a 10 vezes o valor do SD (Taylor, J. K., 1987). No caso foi utilizado o valor de 5 vezes o valor do desvio padrão.

Limite de quantificação do método:

$$LQ = \text{Branco do ensaio} + 5 \times SD \text{ como o branco} = 0$$

$$LQ = 5 \times SD \quad (\text{equação 4})$$

A Tabela 9 mostra os íons quantificadores (m/z), limites de detecção (LD) e limites de quantificação (LQ) para as substâncias analisadas.

Tabela 9: Valores dos íons quantificadores (m/z), limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) em µg/kg.

Composto	m/z	LD	LQ	Composto	m/z	LD	LQ
1,1-Dicloroetano	96	115	183	m,p-Xileno	106	33	53
Diclorometano	84	102	162	o-Xileno	106	19	29
Trans-1,2-Dicloroetano	96	86	136	Estireno	104	9	14
1,1-Dicloroetano	63	79	125	Bromofórmio	173	49	79
2,2-Dicloropropano	77	99	158	Isopropilbenzeno	105	16	25
Cis-1,2-Dicloroetano	96	53	84	1,1,2,2-Tetracloroetano	83	78	124
Bromoclorometano	128	71	114	Bromobenzeno	156	19	30
Clorofórmio	83	76	121	1,2,3-Tricloropropano	75	69	109
1,1,1-Tricloroetano	97	70	111	n-Propilbenzeno	91	16	26
1,1-Dicloro-1-Propeno		6	10	1-Cloro-2-Metilbenzeno	91	11	18
Tetracloro de Carbono	117	66	105	1,3,5-Trimetilbenzeno	105	12	20
Benzeno	78	29	45	1-Cloro-4-Metilbenzeno	91	39	61
1,2-Dicloroetano	62	99	158	terc-Butilbenzeno	119	8	12
Tricloroetano	95	6	10	1,2,4-Trimetilbenzeno	105	25	39
1,2-Dicloropropano	63	15	23	sec-Butilbenzeno	105	17	27
Dibromometano	93	47	75	1,3-Diclorobenzeno	146	11	18
Bromodiclorometano	83	38	60	p-Isopropiltolueno	119	20	32
Tolueno	92	10	15	1,4-Diclorobenzeno	146	5	8
1,1,2-Tricloroetano	83	44	70	n-Butilbenzeno	91	21	33
Tetracloroetano	164	12	19	1,2-Diclorobenzeno	146	11	17
1,3-Dicloropropano	76	8	13	1,2-Dibromo 3-Cloropropano	75	70	112
Dibromoclorometano	129	43	68	1,3,5-Triclorobenzeno		11	17
1,2-Dibromoetano		29	46	1,2,4-Triclorobenzeno	180	13	20
Clorobenzeno	112	21	34	Hexaclorobutadieno	225	39	62
1,1,1,2-Tetracloroetano	131	56	89	Naftaleno	128	5	7
Etilbenzeno	91	5	8	1,2,3-Triclorobenzeno	180	6	10

m/z = Íon quantificador

LD = Limite de detecção

LQ = Limite de quantificação

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da determinação de COVs em amostras de lodo de esgoto, coletadas nas ETEs, estão apresentados na Tabela 11.

Na ETE da RMSP foram efetuadas quatro amostragens e nas outras ETEs (Vinhedo, Jundiaí e Americana) foi efetuada apenas uma amostragem.

4.1. Possíveis fontes de COVs em lodo de esgoto.

Os COVs são amplamente utilizados em ambientes industriais e domésticos, permitindo a ocorrência dessas substâncias em lodos de esgotos. A concentração de COVs detectados no lodo de esgoto irá depender de fatores como adsorção no lodo, transformações químicas, volatilização e biodegradação, processos que poderão afetar o comportamento dos COVs durante o tratamento dos esgotos. O tolueno, xilenos e diclorometano são as substâncias que ocorrem com maior frequência em produtos domésticos (WILSON, S. C. et al., 1994).

O tolueno é utilizado em solventes de tintas, revestimentos, adesivos, desengraxantes, produtos de limpeza, e produção de polímeros (WHO, 1985; ATSDR, 2000). A mistura de benzeno, toluenos e xilenos é adicionada em gasolinas para aumentar a octanagem (ATSDR, 2000).

Os xilenos também são utilizados como solventes em uma variedade de aplicações, como tintas para pintura e de impressoras. O etilbenzeno é utilizado como precursor na produção de estireno e como solvente. Os diclorobenzenos são amplamente utilizados na indústria e em produtos domésticos tais como, agente odorizante, corantes e pesticidas. A principal aplicação do 1,4-diclorobenzeno é como matéria prima na síntese de pesticidas, resinas e corantes (WHO, 2004). O isopropilbenzeno é utilizado na produção de fenol, acetona e outras substâncias. O

n-butilbenzeno é utilizado principalmente em síntese orgânica, na produção de pesticidas, plastificantes, agentes de liga de polímeros (HSDB, 2004).

O n-propilbenzeno é utilizado na produção de isopropilbenzeno (cumeno), metil estireno e em corantes têxteis e de impressão. O n-propilbenzeno tem sido detectado em efluentes industriais de refinarias de petróleo e fabricação de tecidos (OEHHA, 2000).

Os trimetilbenzenos são utilizados na produção de corantes, como solventes, diluente de tintas, na produção de perfumes e como ingredientes inertes na formulação de pesticidas e podem atingir o meio ambiente através da liberação durante a produção ou uso. Os trimetilbenzenos também são liberados diretamente para o meio ambiente como componente da gasolina e através da emissão veicular, estações de tratamento de esgoto doméstico e sistemas de geração de energia a carvão (HSDB, 2008).

O naftaleno é utilizado na produção do anidrido ftálico que por sua vez é usado na produção de plastificantes de ftlato, resinas, ftaleínas, corantes, produtos farmacêuticos, repelentes de insetos. A principal fonte de naftaleno no meio ambiente resulta da combustão de madeira e combustíveis fósseis ou produção de carvão (HSDB, 2003).

A presença do clorofórmio pode estar relacionada à cloração da água tratada, de esgotos industriais e públicos, em piscinas e outros processos envolvendo cloração (SALGADO & MARONA, 2004).

4.2. Determinação de COVs no lodo da ETE - RMSP.

A ETE da RMSP trata a maior parte dos esgotos da cidade de São Paulo e também dos municípios de Jandira, Itapevi, Barueri, Carapicuíba, Osasco, Taboão da Serra, e partes de Cotia e Embu. O esgoto recebe contribuição de efluentes domésticos e industriais em proporções variadas que chegam pela rede coletora e por caminhões tanques (SABESP).

Dos COVs analisados nas amostras de lodo da ETE da RMSP foram encontrados os que estão relacionados na Tabela 10.

Os resultados mostram que com exceção do tolueno, da primeira para a segunda amostragem ocorreu uma diminuição da concentração dos COVs identificados; da segunda para terceira amostragem verificou-se um aumento e da terceira para quarta amostragem uma nova diminuição dos COVs. O estireno só foi detectado em duas amostragens e apresentou valores próximos de concentração.

A Figura 11 mostra a concentração dos COVs e suas datas de amostragens.

De todos os COVs encontrados, o tolueno foi o que apresentou maior concentração, mostrando pouca variação na concentração da primeira para a segunda amostragem, no entanto teve sua concentração muito elevada na terceira amostragem e depois caiu para um valor pouco menor que a da primeira amostragem. A Figura 12 mostra a concentração do tolueno em relação às concentrações dos outros covs encontradas nos lodos.

Tabela 10: Concentrações, encontradas na ETE da RMSP.

Data coleta	14/12/2006	6/2/2007	13/3/2007	15/5/2007
Conc. peso seco	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg
Tolueno	26928±9589	26363±3564	55600±5045	19650±1851
Etilbenzeno	4593±768	2918±757	5036±365	2306±181
m,p-Xileno	4313±558	3234±550	5186±437	2784,56±195
o-Xileno	788±99	570±76	1048±94	509±31
Estireno		153±20	182±43	
Isopropilbenzeno	485±19	257±28	295±24	285±27
n-Propilbenzeno	596±66	307±56	461±62	347±19
1,3,5- Trimetilbenzeno	1152±18	562±120	632±102	509±41
1,2,4- Trimetilbenzeno	2787±299	1332±291	1961±324	1738±145
p-Isopropiltolueno	10571±1670	1406±195	5429±829	2022±156
1,4-Diclorobenzeno	2037±254	1172±132	1300±207	845±275
n-Butilbenzeno	1343±158	563±106	644±165	415±131
Nafataleno	3297±447	1240±108	5670±815	901±163

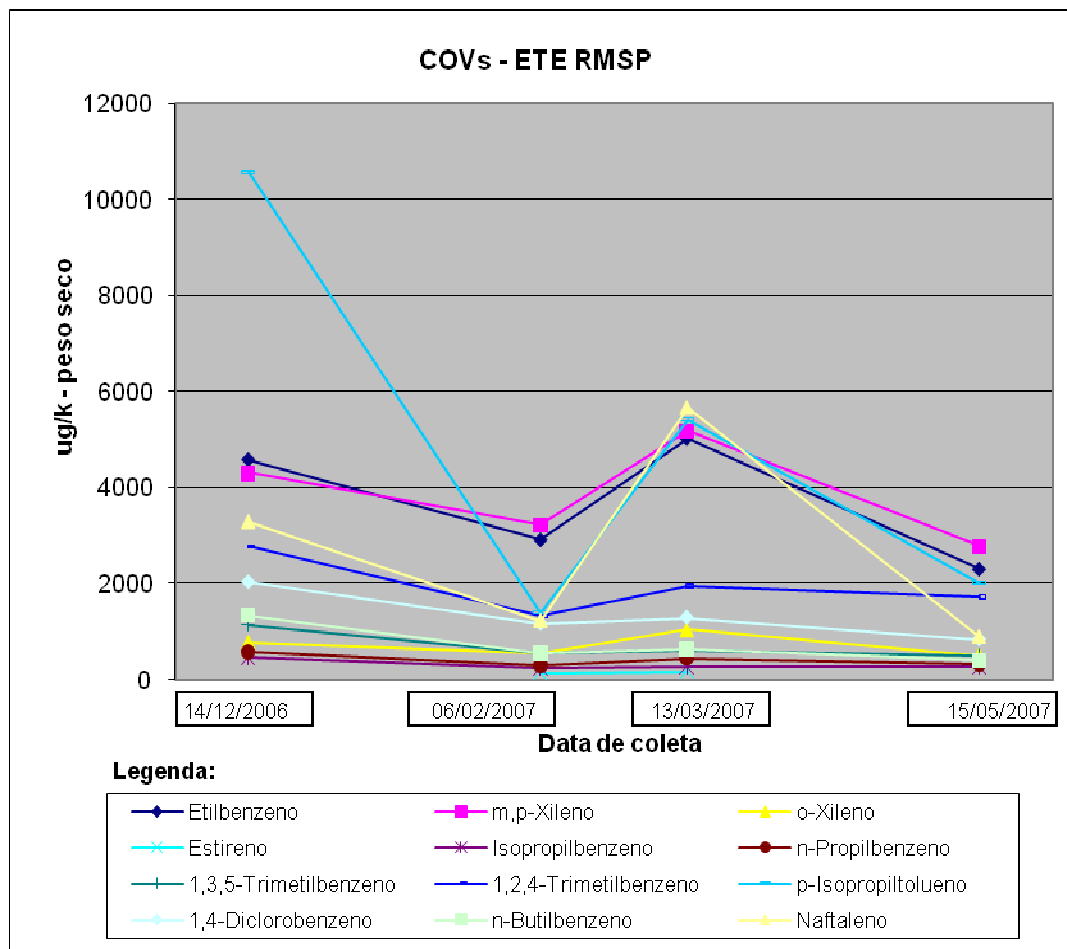


Figura 11: Concentrações dos COVs encontrados nos lodos de esgotos.

Os COVs detectados, devido às suas naturezas hidrofóbicas/lipofílicas, acabam enriquecendo o lodo final. Esse aumento na concentração de tolueno da segunda para terceira amostragem pode ser um indicativo de utilização intensa no período que antecedeu a amostragem, também indica que esse solvente é amplamente utilizado nessa região indo acumular-se nos esgotos que são tratados nessa ETE.

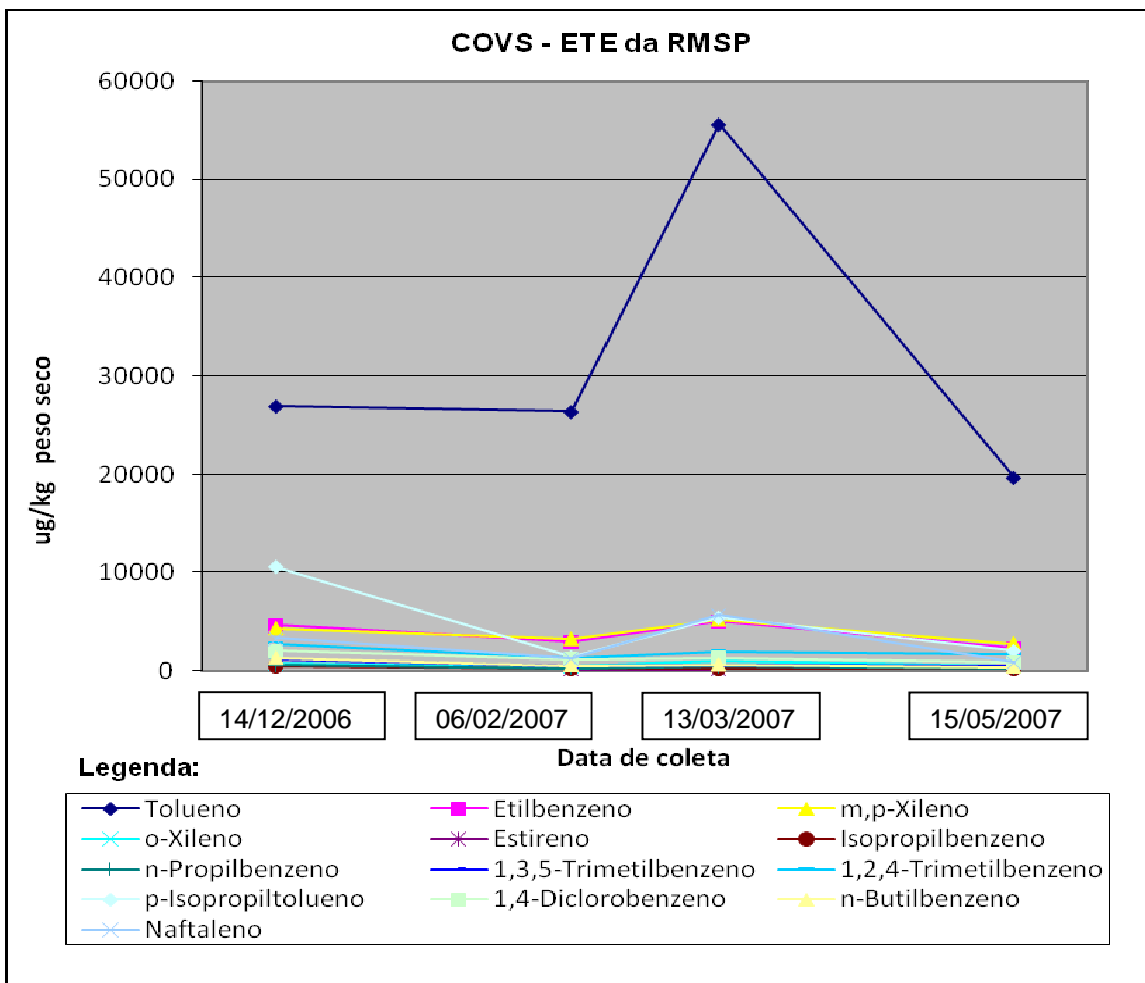


Figura 12: Concentração do tolueno em relação aos outros COVs.

4.3. Determinação de COVs no lodo da ETE - Vinhedo.

A ETE de Vinhedo trata cerca de 60% do esgoto coletado na cidade, que é predominantemente doméstico (SANEBAVI; CETESB ⁽²⁾, 2007). Nas duas amostras

de lodo coletada nessa ETE foram detectados o tolueno, 1,4-diclorobenzeno, clorofórmio e benzeno todos menores que o LQ.

4.4. Determinação de COVs no lodo da ETE - Jundiaí.

A ETE de Jundiaí trata todo esgoto coletado na cidade, proporção de 40% doméstico e 60% industrial, havendo predomínio de efluentes provenientes de indústrias de fiação, chapas de madeira, alimentos e bebidas (CSJ; CETESB ⁽²⁾, 2007). Nas duas amostras de lodo coletada nessa ETE foi detectado tolueno na concentração de 18,1 µg/kg e benzeno menor que o LQ.

4.5. Determinação de COVs no lodo da ETE - Americana.

A ETE de Americana trata esgoto sanitário, no qual há mistura de efluentes provenientes de indústrias têxteis e tinturaria, que chegam pela rede coletora. Essa ETE trata 85% do esgoto coletado na cidade. (DAE Americana; CETESB ⁽²⁾, 2007). Nessa ETE foi detectado apenas o tolueno na concentração de 167 µg/kg.

4.6. Comparação dos resultados com a literatura consultada.

A Tabela 11 mostra os COVs detectados, concentrações no lodo e resultados de concentrações obtidas em outros estudos. Pode-se observar que o lodo gerado pela ETE da RMSP é o que contém maior contribuição de COVs em relação às outras ETEs de Vinhedo, Jundiaí e Americana.

Entre os COVs, o tolueno é o que está presente nos lodos de esgoto das quatro ETEs, sendo que no lodo da ETE da RMSP sua faixa de concentração está acima dos valores da literatura.

A ETE da RMSP trata parte dos 43% dos esgotos coletados na chamada Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 6 (UGRHI 6) que é composta por 34 municípios, sendo a maioria de esgotos domésticos e industriais (CETESB ⁽²⁾, 2008). A população nessa UGRHI foi estimada em 19.415.699 habitantes. Importante lembrar que essa região centraliza a sede dos mais importantes complexos industriais, comerciais e financeiros do país, respondendo por 15% do produto interno bruto do país (PIB), e gerando, portanto esgotos com alta carga de poluentes. Nos lodos dessa ETE foram detectados 6 COVs derivados de benzeno (isopropilbenzeno, n-propilbenzeno, 1,3,5-trimetilbenzeno, 1,2,4-trimetilbenzeno, p-isopropiltolueno e n-butilbenzeno), os quais não foram encontrados em outros estudos na literatura. As ETEs de Vinhedo, Jundiaí e Americana, juntas tratam parte dos 41% dos esgotos gerados na UGRHI 5 na qual estão inseridas, e cuja população estimada é 4.923.861 habitantes.

4.7. Comparação com a legislação.

A norma *US EPA 40 CFR Part 503*, que estabelece os padrões norte americanos para uso e disposição de lodos de esgotos não define quais substâncias orgânicas, incluindo os COVs, e concentrações podem estar presentes nos bio sólidos para uso agrícola.

A Directiva 86/278/EEC da Comunidade Européia para proteção do ambiente, em particular do solo, quando lodo de esgoto é utilizado em agricultura, também não define nem estabelece valores para substâncias orgânicas que possam estar presentes nos bio sólidos.

Dos considerados COVs encontrados nos lodos analisados, apenas o 1,4-diclorobenzeno e o naftaleno estão incluídos na Resolução CONAMA ⁽²⁾ nº 375

(BRASIL). A faixa de concentração determinada para o 1,4-diclorobenzeno foi de 845 – 2037 µg/kg, sendo o valor legislado de 390 µg/kg. Para o naftaleno a faixa determinada foi de 901 – 5670 µg/kg, sendo o valor legislado de 120 µg/kg.

Comparando com valores orientadores da CETESB ⁽³⁾, 2005 as concentrações encontradas para o 1,4-diclorobenzeno e naftaleno estão acima do valor de prevenção (390 µg/kg e 120 µg/kg, respectivamente) e abaixo do valor de intervenção agrícola (50.000 e 30.000 µg/kg, respectivamente). As concentrações do estireno estão abaixo do valor de prevenção (200 µg/kg), para os xilenos, estão acima do valor de prevenção e abaixo da intervenção (130 e 25.000 µg/kg, respectivamente). Os valores encontrados para o tolueno apresentam-se abaixo do valor de intervenção (30.000 µg/kg) com exceção de uma amostra do dia 13/03/2007, cujo valor encontrado foi de 55.600 µg/kg.

Tabela 11: COVs e faixas de concentrações no lodo de esgoto relatados na literatura.

COV	RMSP	Vinhedo	Jundiaí	Americana	Literatura
Conc. µg/kg, peso seco					
Tolueno	19650 – 55601	< LQ	18	167	<50 – 1800 ¹ ND – 1180 ⁴ 200 – 1100 ⁵ 1800 - 9600 ⁶ ND – 65500 ⁴
Etilbenzeno	2306 – 2918	ND	ND	ND	10 – 300 ⁵ <50 – 1200 ¹
m,p-Xileno	2785 – 5186	ND	ND	ND	10 – 1200 ⁵ 5390 - 7210 ⁶
o-Xileno	509 – 1048	ND	ND	ND	<50 – 700 ¹ 10 – 500 ⁵ 980 - 1420 ⁶
Benzeno	< LD	< LQ	< LQ	ND	ND – 11300 ⁴ 100 – 2000 ⁵
Estireno	153 – 182	ND	ND	ND	ND – 5850 ⁴
Isopropilbenzeno	257 – 485	ND	ND	ND	^a
n-Propilbenzeno	307 – 596	ND	ND	ND	^a
1,3,5- Trimetilbenzeno	509 – 1152	ND	ND	ND	^a
1,2,4- Trimetilbenzeno	1332 – 2787	ND	ND	ND	^a
p-Isopropiltolueno	1406 – 10572	ND	ND	ND	^a
1,4- Diclorobenzeno	845 – 2037	< LQ	ND	ND	<10 – 610 ¹ 37 – 250 ² <200 – 33900 ³ 40 – 633000 ³
n-Butilbenzeno	415 – 1343	ND	ND	ND	^a
Naftaleno	901 - 5670	ND	ND	ND	<10 – 3200 ¹ 23 – 2900 ² ND – 6610 ⁴
Clorofórmio	ND	< LQ	ND	ND	2 – 6000 ⁵ ND – 60000 ⁴

¹ BRIGHT, D. A.; HEALEY, N. 2003 ⁵ WILSON, S. C.; BURNETT, V.; WATERHOUSE, K. S.; JONES K. C., 1994

² CAI, Q, Y, et al. 2007

⁶ WILSON, S. C.; ALCOCK, R. E.; SEWART, A. P.; JONES K. C., 1997

³ ROGERS, H. R., 1996

^a Não encontrados dados na literatura consultada

⁴ HARRISON, E. Z., 2006

ND : Não detectado

5. CONCLUSÕES

Dos COVs encontrados nas amostras de lodos coletadas na ETE da RMSP, de Jundiaí e de Americana, alguns são considerados prioritários e/ou tóxicos pela *US EPA* e *CEPA* devido às suas propriedades químicas, capacidade de bioacumulação e transporte nos vários compartimentos ambientais. Parte dos lodos de esgoto de ETEs têm sido usados para fins agrícolas.

A resolução CONAMA nº 375 em vigor no Brasil, assim como regulamentações de outros países, não exigem valores limite para alguns COVs considerados prioritários. Na literatura, estudos de avaliação de risco e efeitos adversos à saúde e ao meio ambiente com relação aos COVs são ainda limitados. Uma base de dados sobre COVs em lodos de esgoto é necessário para estabelecer valores limite nos lodos usados para fins agrícolas.

O presente trabalho evidenciou a presença de vários COVs em concentrações significativas nas amostras de lodo proveniente de ETEs, principalmente a ETE da RMSP. Dentre os COVs identificados, apenas 1,4-diclorobenzeno e naftaleno apresentam valores permitidos em solo agrícola (390 e 120 µg/kg, respectivamente) e valores de concentrações muito acima desses limites foram encontrados para as amostras de lodo da ETE de RMSP (de 845 a 2037 e de 901 a 5670 µg/kg, respectivamente).

Os resultados obtidos neste trabalho, embora não forneçam dados suficientes para uma imediata tomada de decisão, permitem fornecer subsídios técnicos para iniciar uma base de dados sobre COVs em lodo de esgoto que, futuramente, utilizando-se metodologias adequadas, será útil para se realizar uma revisão das regulamentações vigentes para lodo de esgoto com finalidade agrícola.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, U. K.; UJANG, Z.; WOON, C. H.; INDRAN, S.; MIAN, M. N. Development of Extration Procedures for the Analisis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Organochlorine Pesticides in Municipal Sewage Sludge. **Water Science Technology**. v.50, n. 9, p.137-144, 2004.

ABNT NBR 1007. **Amostragem de resíduos sólidos**, 2^a ed., 2004.

ANDREOLI, C. V. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES – PROSAB, 2006. 410 p.

Australian National Pollutant Inventory (ANPI). Disponível em <http://www.npi.gov.au/about/list_of_subst.html>. Acesso em: mai /2009.

ASTM (USA), D3960-90. Disponível em <<http://www.astm.org/index.html>>. Acesso em: mai./2009.

ATSDR. AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGSTRY. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. **Toxicological profile for Toluene**. 2000. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.pdf>>. Acesso em jul./2009.

BARBOSA, G. M. C.; FILHO, J. T. **Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas.** In Seminários Ciências Agrárias, Londrina, v. 27, n. 4, p. 565-580, out./dez. 2006.

BRIGHT, D. A.; HEALEY, N. Contaminant risks from biosolids land application: Contemporary organic contaminant levels in digested sewage sludge from five treatment plants in Greater Vancouver, British Columbia. **Environmental Pollution**, v.126, p.39-49, 2003.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. (Editores técnicos). **Lodo de esgoto: Impactos Ambientais na Agricultura.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 347 p.

CAI, Q. Y.; MO, C. H.; WU, Q. T.; ZENG, Q. Y.; KATSOYIANNIS A. Occurrence of organic contaminants in sewage sludges from eleven wastewater treatment plants, China. **Chemosphere**, v. 68, p.1751-1752, 2007.

CASSINI, S. T. (coord). **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás.** Rio de Janeiro: ABES – PROSAB, 2003. 210 p.

CETESB ⁽¹⁾. **Aplicação de Lodos de Sistemas de Tratamento Biológico em Áreas Agrícolas – Critérios para Projeto e Operação.** Norma Técnica P4. 230, 32 p. São Paulo, agosto, 1999.

CETESB ⁽²⁾. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo 2007**, São Paulo: CETESB, 2008. 537 p. Disponível também em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/publicacoes.asp>>. Acesso em 2008.

CETESB ⁽³⁾. **Decisão de Diretoria nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005**. Disponível em < http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores.pdf>. Acesso em: maio/2007

CEPA. **Canadian Environmental Protection Act**. Disponível em < http://www.ec.gc.ca/CEPARRegistry/subs_list/> Acesso em: maio/2009.

CSJ. Companhia de Saneamento de Jundiaí. Disponível em < <http://www.saneamento.com.br/>> Acesso em: maio/2008.

CSIRO, 2005. **Commonwealth Scientific and Industrial Research**. Land and Water, Centre for Environmental Contaminants Research, 2005. Disponível em <http://www.clw.csiro.au/> Acesso em: maio/2009.

CONN, K. E.; BARBER, L. B.; BROWN, G. K.; SIEGRIST, R. L. Occurrence and Fate of Organic Contaminants during Onsite Wastewater Treatment. **Environmental Science & Technology**, v.40, p.7358-7366, 2006.

CONAMA ⁽¹⁾. Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução nº 357/2005. **“Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências”**. Data da legislação: 17/03/2005. Publicação no DOU nº 53 de 18/03/2005, p. 58-63.

CONAMA ⁽²⁾. Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução nº 375/2006. **“Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências”**. Data da legislação: 29/08/2006. Publicação no DOU nº 167 de 30/08/2006, p. 141-146.

MO, C. H.; CAI, Q. Y.; LI, Y. H.; ZENG, Q. Y. Occurrence of priority organic pollutants in the fertilizers, China. **Journal of Hazardous Materials**. v.152, p1208-1213, 2008.

DAE, Americana. Departamento de Água e Esgoto de Americana. Disponível em <<http://www2.daeamericana.com.br/>> Acesso em: mai./ 2009

Directiva 2004/42/CE. Disponível em <http://europa.eu/index_en.html>. Acesso em: mai. /2009.

FLORÊNCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE M. M. (coord). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES-PROSAB, 2006. 427 p.

FYTILI, D.; ZABANIOTOU, A. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, p.116-140, 2008.

HARRISON, E. Z. Organic Chemicals in Sewage Sludges. **Science of the Total Environment**. v. 367, p.481-497, 2006.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4^o ed. Rio de Janeiro: Segrac, 2005. 932 p.

HSDB. HAZARDOUS SUBSTANCES DATABANK. **National Library of Medicine**. National Toxicology Information Program. n-Butylbenzene. Bethesda (2004), Naphthalene. Bethesda (2003). Trimethylbenzenes. Bethesda (2008). Disponível em: <<http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/download.txt>>. Acesso em jul./2009

KAPOSTS, V.; KARINS, Z.; LAZDINS, A. Use of sewage sludge in forest cultivation. **Baltic Forestry**, v. 6, n. 2, p.24-28, 2000.

LATURNUS, F.; von ARNOLD, K.; GRON, C. Organic contaminants from sewage sludge applied to agricultural soils. **Environment Science and Pollution Research**, v. 14, n.1, p.53-60, 2007.

OEHHA. OFFICE OF ENVIRONMENTAL HEALTH HAZARD ASSESSMENT. **Proposed Notification Level for n-Propylbenzene**. 2000. Disponível em: <<http://oehha.ca.gov/water/pals/npropylbenz.html>>. Acesso em jul./2009

POLGLASE, P. J.; MYERS, B. J. **Tree plantation for recycling effluent and biosolids in Australia.** In ELDRIDGE, K. G. (Ed). Environmental management: the role of eucalypts and other fast growing species. Proceedings of Joint Australian/Japanese Workshop held in Australia. Melbourne, p. 100-109. 1995.

QUAN-YANG CAI, CE-HUI MO, QI-TANG WU, QIAO-YUN ZENG, KATSOYIANNIS A. Occurrence of organic contaminants in sewage sludges from eleven wastewater treatment plants, China. **Chemosphere**, v. 68, p.1751-1752, 2007.

ROGERS, H. R. Source, behavior and fate of organic contaminants during sewage treatment and in sewage sludges. **Science of the Total Environment**, v.185, p.3-26, 1996.

SALGADO, P.E.T.; MARONA, H.R.N. **Informações Gerais e Ecotoxicológicas de Solventes Clorados.** v.15: Série Cadernos de Referência Ambiental. Salvador: Centro de Recursos Ambientais – CRA, 2004. 510 p.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Disponível em <<http://www.sabesp.com.br>>. Acesso em: mai./2008.

SANEBAVI. Saneamento Básico de Vinhedo. Disponível em <<http://vinhedo.sp.gov.br/>>. Acesso em: mai./2009.

SILVA, E. R. **O curso da água na história: Simbologia, moralidade e a gestão de recursos hídricos**. 1998. 201 p. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde, Rio de Janeiro.

SINGH, R. P., AGRAWAL, M. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. **Waste Management**, v. 28, n.2, p.347-358, 2008.

SPERLING, M. V. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. v. 2. Belo Horizonte: Segrac, 1996. 211p.

TAYLOR, J. K. **Quality Assurance of Chemical Measurements**. Lewis Publishers, 1987. 352 p.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D.; METACALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4^o ed. McGraw-Hill Professional, 2003. 1819p.

TSUTIYA, T. M.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A. et al. (Editores). **Biossólidos na Agricultura**. São Paulo: Sabesp, USP, UNESP, ESALQ, 2001. 468 p.

UFRRJ: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. **Mapa mental dos problemas do esgoto**. Disponível em <http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/mma3.html>>. Acesso em: jun./2009.

UMBUZEIRO, G. A. **Implantação e validação de métodos para avaliação toxicológica de lodos de esgoto doméstico.** In CETESB, Atualização e Aperfeiçoamento de Metodologias Analíticas. Relatório Final. São Paulo; 2009. 70 p.

US EPA ⁽¹⁾, 40 CFR 503, 1997. *Code of Federal Regulations (CFR), Title 40, Part 503, Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge.* Disponível em: <<http://ecfr.gpoaccess.gov/>>. Acesso em mai./ 2009.

US EPA, *Terms of Environment: Glossary, Abbreviations and Acronyms.* Disponível em <<http://www.epa.gov/OCEPA/terms/v/terms.html>>. Acesso em: mai./2009.

WANG, L.; GOVIND, R. Sorption of Toxic Organic Compounds on Wastewater Solids: Mechanism and Modeling. **Environmental Science & Technology**, v.27, p.152-158, 1993.

WILSON, S. C.; ALCOCK R. E.; JONES K. C. Organic Chemical in the Environment: Persistence of Organic Contaminants in Sewage Sludge-Amended Soil : A Field Experiment. **Journal of Environmental Quality**, v. 26, p.1467-1477, 1997.

WILSON, S. C.; BURNETT, V.; WATERHOUSE, K. S.; JONES, K.C. Volatile Organic Compounds in Digested United Kingdom Sewage Sludges. **Environmental Science & Technology**, v. 28, p.259-266, 1994.

WILSON, S.C.; DUARTE-DAVIDSON R.; JONES K.C. Scening the environmental fate of organic contaminants in sewage sludges applied to agricultural soils: 1. The potential for downward movement to groundwaters. **Science of the Total Environment**, v. 185, p.45-57, 1996.

WEETMAN, G. F.; McDONALD, M. A.; PRESCOTT, C. E.; KIMMINS, J. P. Responses of Western hemlock, Pacific silver fir and Western red cedar plantations on Northern Vancouver Island to applications of sewage sludge and inorganic fertilizer. **Canadian Journal of Forestry Research**, v. 23, n.9, p.1815-1820, 1993.

WHO, 2002. WORLD HEALTH ORGANIZATION **Developing Human Health-related Chemical Guidelines for Reclaimed Waster and Sewage Sludge Applications in Agriculture**. WHO, Sep. 30, 2001. Revised May 17,2002.

WHO, 2004. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for Drinking-Water Quality**. 3rd ed. V.01. WHO: Geneva, 2004. 515 p.

7. ANEXO

CURRICULUM VITAE

Nome: Marcos Gualberto da Silva

Data e Local de Nascimento: 18/04/1958, Recife – Pernambuco

Naturalidade: Brasileira

EDUCAÇÃO

EEPSG Frei Paulo Luigi, São Paulo – SP, 1977

Colégio Politécnico *Ego Sum*, São Paulo – SP, 1997

Universidade Estadual de Campinas, Campinas – São Paulo, 1983.

Bacharelado em Química

ATIVIDADE PROFISSIONAL

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

Cargo: Técnico de Laboratório; 01/04/1998 a Abril/2001

Químico: Abril/2001 até a presente data

Atividades desenvolvidas: Análises físico-químicas de rotina, desenvolvimento/implantação de metodologias analíticas para identificação e quantificação de compostos orgânicos em amostras ambientais por cromatografia a gás, utilizando-se detectors específicos tais como: ECD, FID, ELCD, PID, espectrometria de massas. Otimização de parâmetros instrumentais, treinamento de técnicos e estagiários.

CURSOS MINISTRADOS

“Análise de trihalometanos”. Local: CETESB – SEDE – São Paulo - SP

Período: 08/11/1999 a 12/11/1999 – 40 horas

20/11/2000 a 24/11/2000 – 40 horas