

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE  
ÁGUA DE PORTO ALEGRE/RS**

**Gabriela Tirello Acquolini  
(Dissertação)**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE  
ÁGUA DE PORTO ALEGRE/RS**

GABRIELA TIRELLO ACQUOLINI  
Gestora Ambiental (IFRS)

Dissertação apresentada como  
um dos requisitos à obtenção do  
Grau de Mestre em Ciência do Solo

Porto Alegre (RS) Brasil  
Abril de 2017

### CIP - Catalogação na Publicação

Acquolini, Gabriela Tirello  
CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO  
DE ÁGUA DE PORTO ALEGRE/RS / Gabriela Tirello  
Acquolini. -- 2017.  
68 f.

Orientador: Flávio Anastácio de Oliveira Camargo.  
Coorientador: Telmo Francisco Manfron Ijeda.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa  
de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Porto Alegre, BR-  
RS, 2017.

1. Lodo. 2. ETA. 3. Guaíba. 4. Cynodon Dactylon.  
5. Lobularia marítima. I. Camargo, Flávio Anastácio  
de Oliveira, orient. II. Ijeda, Telmo Francisco  
Manfron, coorient. III. Título.

GABRIELA TIRELLO ACQUOLINI

CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA  
DE PORTO ALEGRE/RS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em  
Ciência do Solo da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em  
Ciência do Solo.

Aprovada em 28 de abril de 2017.  
Homologada em 03 de abril de 2018.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Carlos Gustavo Tornquist  
UFRGS

Prof. Enilson Luiz Saccol de Sá  
UFRGS

Prof. Pedro Alberto Selbach  
UFRGS

Prof. Tales Tiecher  
UFRGS

Orientador – Prof. Flávio Anastácio de Oliveira Camargo  
UFRGS

“Mas é nas escolhas, nas possibilidades – e creio que é isso que é interessante – que chegamos a uma nova racionalidade. Uma racionalidade na qual a verdade científica não é o certo ou o determinado, ou o incerto não é a ignorância. *Porque há liberdade* na natureza que descrevemos, a qual permite por sua vez a liberdade interior que experimentamos. ”

Ilya Prigogine

Com saudade, dedicado este trabalho ao meu pai Cezar Noronha Acquolini (*in memoriam*), que me ensinou o caminho do bem.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais, Márcia Tirello e Cezar Acquolini que sempre me encorajaram, apoiaram e valorizaram, proporcionando a educação necessária que me permitiu chegar aqui.

À minha irmã Nicole Acquolini, que desde o útero aos momentos difíceis esteve comigo, me fortificando, encorajando e alegrando.

Ao meu orientador Flávio Camargo, assim como aos meus professores do PPGCS, pela oportunidade, formação intelectual, pessoal e confiança ao me receber e manter no programa.

Ao meu co-orientador Telmo Ojeda, pela dedicação à minha pesquisa, pelos ensinamentos, amizade, orientação e confiança no meu trabalho.

Ao colega de Programa de Pós-Graduação, estudante de doutorado, Leonardo Capeleto, pela amizade, orientação e auxílio nas atividades.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, UFRGS, pela oportunidade de pesquisa. E ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos neste período.

Ao DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgotos, pela abertura em realizar a pesquisa, em especial aos funcionários André Petry, Paulinho Rodrigues, José Augusto dos Santos pela troca de conhecimentos e receptividade nas estações de tratamento de água, assim como ao jardineiro do Jardim da estação Moinhos de Ventos Jair, por me passar todas as informações referentes aos cuidados do jardim.

Ao IFRS – Instituto Federal do Rio Grande do Sul, assim como aos professores e técnicos administrativos que abriram as portas pra mim e me receberam para que eu pudesse conduzir meus experimentos.

Aos colegas do Laboratório de Biorremediação, do Departamento de Solos, UFRGS, em especial Naihana Schaffer pela receptividade, ensinamentos e importante e ajuda no decorrer do mestrado.

Ao Laboratório de Análises de Solos da UFRGS, pela realização de análises químicas.

À colega Jéssica Oliveira e ao professor Alberto Ina pela realização dos ensaios de difração de raio X.

Ao Centro de Microscopia Eletrônica da UFRGS, em especial aos funcionários Fabrício, Mariana, Thaniele e Hamilton por me ajudarem na realização das análises.

Ao querido André Pacheco Lima, por me auxiliar, dar suporte emocional nos momentos mais difíceis, não me deixar desistir e sempre me incentivar a continuar.

Às minhas amigas Janine, Fernanda, Rosa, Jéssica, Letícia, Karoline, Raquel, Paula e Bruna pela força, compreensão da minha ausência e alegrias.

Ao meu namorado Gustavo Falcão pela compreensão e auxílio nesta jornada.

Ao meu colega Samito Assamo pela amizade e palavras de incentivo.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a elaboração deste trabalho, meu reconhecimento.

# CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE PORTO ALEGRE/RS<sup>1/</sup>

Autora: Gabriela Tirello Acquolini

Orientador: Flávio Anastácio de Oliveira Camargo

Co-orientador: Telmo Francisco Manfron Ojeda

## RESUMO

O grande adensamento antrópico nas metrópoles tem aumentado a contaminação e a poluição dos recursos hídricos, que na maioria das vezes abastecem esta mesma população. Com isso, o saneamento básico e seus resíduos relacionados, como o lodo das Estações de Tratamento de Água (ETA) devem ter uma destinação ambientalmente adequada, uma vez que possuem na sua composição predominantemente orgânica, agrotóxicos, metais e produtos químicos. Desta forma, o objetivo desse estudo foi caracterizar o lodo residual de duas estações de tratamento de água do município de Porto Alegre (RS), por meio de análises químicas, biológicas e físicas do lodo, assim como determinar o efeito do lodo em plantas ornamentais a partir da sua disposição no solo. Em complementação foi também realizado a avaliação de alguns parâmetros de qualidade da água do manancial de captação: Guaíba. O lodo foi submetido a análises laboratoriais para diagnóstico de presença de metais, agrotóxicos, coliformes fecais, bem como análises microscópicas e de difratometria de raios X. Além disso, o lodo foi disposto em um Latossolo, com o cultivo de duas espécies ornamentais: *Cynodon dactylon* e *Lobularia marítima* (L.) Desv. Também foram realizadas análises de alguns parâmetros de qualidade da água em 28 pontos do Guaíba. Os resultados da análise do lodo residual de duas ETAs identificaram elevadas concentrações de carbono orgânico e de coliformes fecais e não houve detecção de agrotóxicos, classificando o lodo como resíduo Classe II-A – Não-inerte. O uso diluído de lodo no solo em diferentes concentrações não influenciou significativamente a produção de matéria seca de *Cynodon dactylon* e *Lobularia marítima* (L.) Desv. A água no lago Guaíba apresenta diferentes níveis de qualidade, sendo que a região mais ao norte do lago apresenta uma qualidade inferior à região sul, que se aproxima da foz. A região próxima ao centro de Porto Alegre é onde a qualidade da água é menor, com destaque para a presença de coliformes fecais em grande quantidade. Entre as fontes de poluição pontual destaca-se a contribuição do Arroio Dilúvio.

**Palavras-chave:** Lodo; ETA; Guaíba; *Cynodon dactylon*; *Lobularia marítima*.

<sup>1/</sup> Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (64f.) Abril, 2017



# CHARACTERIZATION OF SLUDGE OF WATER TREATMENT STATIONS OF PORTO ALEGRE/RS<sup>1/</sup>

Author: Gabriela Tirello Acquolini

Adviser: Flávio Anastácio de Oliveira Camargo

Co-adviser: Telmo Francisco Manfron Ojeda

## ABSTRACT

The population increase in the big cities has increased contamination and pollution of water resources, which usually could be used to supply this same population. Basic sanitation and its related waste, such as water treatment plant sludge (ETA), must have an environmentally appropriate destination, since they have predominantly organic composition, agrochemicals, metals and chemicals. Thus, the objective of this study was to characterize the residual sludge from two water treatment plants in the city of Porto Alegre (RS), by means of the Guaíba water quality assessment, using chemical, biological and physical analyzes of the sludge as well to determine the effect of sludge addition to the soil on ornamental plants growth. The sludge was subjected to laboratory analysis to diagnose the presence of metals, pesticides, fecal coliforms, as well as microscopic analysis and X-ray diffraction. In addition, the sludge was disposed in an Oxisol, with the cultivation of two ornamental plants: *Cynodon Dactylon* and *Lobularia maritime (L.) Desv.* Guaíba water quality analyzes were also carried out. The results of the residual sludge analysis of two ETAs identified high concentrations of organic carbon and fecal coliforms and no pesticides were detected, classifying the sludge as Class II-A non-inert residue. The diluted use of soil sludge in different concentrations not influenced significantly the dry matter production of *Cynodon dactylon* and *Lobularia maritime (L.) Desv.* The water in Lake Guaíba presents different levels of quality, being that the region more to the north of the lake presents a inferior quality to the south region, that approaches the mouth. The region near the downtown of Porto Alegre is more polluted and the quality of water is lower, especially by the presence of fecal coliforms in great quantity. Dilúvio stream is among the main punctual sources of pollution of the Guaíba Lake.

**Key-words:** sludge; WTS; Guaíba; *Cynodon dactylon*; *Lobularia marítima*.

<sup>1/</sup> Master Dissertation in Soil Science. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre (66f.) April, 2017

## SUMÁRIO

	Páginas
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>14</b>
2.1 Região Hidrográfica do Guaíba .....	14
2.2 Tratamento de água da cidade de Porto Alegre .....	15
2.3 Lodo residual de Estação de Tratamento de Água .....	19
2.3.1 Toxicidade do lodo .....	20
2.3.2 Microrganismos patogênicos .....	21
2.3.3 Agrotóxicos em lodo .....	22
2.4 Uso do lodo de ETA no solo para o cultivo de plantas.....	23
2.5 Qualidade da água de mananciais para abastecimento público	27
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
3.1 Coleta do lodo de ETA .....	29
3.2 Caracterização do lodo de ETA .....	30
3.3 Uso do lodo de ETA no solo para o cultivo de plantas .....	33
3.4 Avaliação da qualidade da água do Guaíba .....	36
3.5 Análise estatística .....	36
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>38</b>
4.1 Caracterização do lodo das ETAs .....	38
4.2 Uso do lodo de ETA no solo para o cultivo de plantas .....	46
4.3 Avaliação da qualidade da água do Guaíba .....	47

	:
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>53</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>54</b>
<b>7. APÊNDICES .....</b>	<b>64</b>

## RELAÇÃO DE TABELAS

Tabela 1 - Características gerais das Estações de Tratamento de Água .....	18
Tabela 2 - Sólidos do lodo bruto e desidratado (adaptado de BIDONE et al., 1997).....	20
Tabela 3 - Características químicas e físicas dos lodos de ETAs estudadas.....	31
Tabela 4 - Aporte de elementos (mg.kg-1) no solo com a aplicação de diferentes porcentagens de lodo de ETA no solo.....	35
Tabela 5 - Análise química dos macronutrientes presentes nos lodos residuais das ETAs São João e Belém Novo, Porto Alegre, RS.....	39
Tabela 6 - Análise química dos micronutrientes e outros elementos presentes nos lodos residuais das ETAs São João e Belém novo, Porto Alegre, RS. ....	40
Tabela 7 - Análises físico-químicas da água de vários pontos do Lago Guaíba.....	48
Tabela 8 - Quantidade em litros de água pura para diluição do lodo a ser descartado no Guaíba, de acordo com CONAMA 357 .....	50
Tabela 9 - Análise das diferenças estatísticas entre as análises realizadas.....	51
Tabela 10 - Correlações entre os locais de coleta e indicadores físico-químicos.....	52

## RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema do tratamento de água. (FONTE: Adaptado de PORTO ALEGRE, 2015).....	17
Figura 2 - Lodo após coleta .....	30
Figura 3 - Pontos de amostragem no Guaíba .....	37
Figura 4 - Micrografias do lodo das ETAs Belém Novo (a) e São João (b), obtidas com iluminação simultaneamente incidente e transmitida.	43
Figura 5 - Micrografias de microscopia eletrônica de varredura do lodo da ETA de São João, com magnificação de 80 (a), 400 (b) e 2.000 vezes (c) .....	44
Figura 6 - FIGURA 6 – Micrografias de microscopia eletrônica de varredura do lodo da ETA de Belém Novo, com magnificação de 80 (a), 400 (b) e 2.000 (c) .....	44
Figura 7 - Espectrogramas de EDS (energy dispersive x-ray spetroscopy) obtidos dos lodos de São João (a) e Belém Novo	45
Figura 8 - Difratoograma de raios X dos lodos das ETAs de Belém Novo (curva superior) e São João (curva inferior). Kt: caulinita; Qz: quartzo; Ft: feldspato; Pi: piroxênio.....	46
Figura 9 - Produção de massa seca total por vaso de grama e de aliso sob diferentes doses de lodo de ETA. GR/BN = Cultivar Grama/Lodo Belém Novo; GR/SJ = Cultivar Grama/Lodo São João; AI/BN = Cultivar Alyssum Violeta/Lodo Belém Novo; AI/SJ = Cultivar Alyssum Violeta/Lodo São João.....	47

## 1. INTRODUÇÃO

O adensamento acentuado da população nas áreas urbanas tem aumentado a contaminação e poluição dos recursos hídricos, que geralmente abastecem esta mesma população. Deste modo, os sistemas de abastecimento de água, de coleta de resíduos e o tratamento de esgotos sanitários são serviços essenciais à saúde da população, bem como à preservação destes recursos. As áreas rurais também contribuem para o aumento da contaminação dos mananciais e a diminuição da qualidade da água, com o uso de pesticidas e fertilizantes químicos. A eliminação destes contaminantes da água envolve uma série de tratamentos como a coagulação, floculação, decantação e filtração. Estes procedimentos geram resíduos sólidos, com alto teor de umidade que são chamados de lodos. Estes resíduos devem ter destinação adequada para que não ocorra a transferência do problema para outros locais.

O lodo residual de Estações de Tratamento de Água (ETA) tem na sua composição substâncias sólidas, orgânicas e inorgânicas, oriundas da água bruta e de coagulantes e floculantes. O material orgânico pode conter ainda pesticidas, produtos químicos e outros compostos de origem industrial, urbana e agrícola. Fatores como produtos químicos utilizados no tratamento, possíveis contaminantes contidos nesse produto, características da água bruta, reações químicas ocorridas durante o processo, características hidráulicas, físicas, químicas e biológicas do corpo receptor, forma de redução e tempo de retenção dos resíduos nos decantadores influenciam nas potenciais características toxicológicas dos lodos de estações de tratamento de água.

Os sistemas atuais de tratamento de água foram planejados e executados sem considerar a destinação para o lodo gerado. Esta condição está sendo modificada nos últimos anos, em decorrência do grande volume de resíduos gerados e da maior exigência quanto ao gerenciamento deste material

por órgãos ambientais. Além destas novas estratégias, outras indagações acerca das características, produções e impactos ambientais do lodo residual de ETAs necessitam ser esclarecidas para o equacionamento do problema.

Desta forma, o objetivo desse estudo foi analisar o lodo residual de duas estações de tratamento de água do município de Porto Alegre (RS), utilizando análises químicas, biológicas e físicas do lodo, bem como determinar o efeito da disposição no solo a partir da biomassa de duas espécies ornamentais, e para complementar o entendimento dos resultados, também analisar parâmetros de qualidade da água de diversos pontos do manancial de captação Guaíba.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Região Hidrográfica do Guaíba

A região hidrográfica do Guaíba é uma das regiões hidrográficas mais importantes do estado do Rio Grande do Sul, devido sua expressiva diversidade de ecossistemas, atividades econômicas e culturais (NORONHA et al., 1998). Situa-se na região nordeste do estado, entre os paralelos 28° S e 31°S e os meridianos 50°W e 54° W, abrangendo uma área de 84.763,54 Km<sup>2</sup> correspondente a 30% da área total do estado (RIO GRANDE DO SUL, 2016). A região possui inúmeros problemas ambientais consequentes do grande contingente populacional e da ampla concentração de atividades econômicas. São em média 5,9 milhões de habitantes, sendo 61% da população do Estado, distribuídos por 251 municípios que correspondem a 54% das cidades gaúchas (PRÓ-GUAÍBA, 2015). Dividida em nove bacias hidrográficas, interligadas por grandes rios, é como uma única corrente que acumula em seu leito os resíduos das diversas atividades da população (NORONHA et al., 1998).

A economia e uso e ocupação do solo dessa região envolve: represamento (barragens); agricultura (arroz irrigado, grãos, tabaco, maçã) e pecuária; atividade de vitivinicultura; atividade carbonífera; indústria (coureiro-calçadista, petroquímica, metalúrgica, metal mecânica, moveleira, automobilística, celulose, química, bebidas); além de grande volume de esgotos domésticos (NORONHA et al., 1998; PRÓ-GUAÍBA, 2015). Essa economia faz com que a Região Hidrográfica do Guaíba abranja 86% do Produto Interno Bruto do Rio Grande do Sul (NORONHA et al., 1998). Em decorrência dessas atividades, a região possui graves impactos ambientais, que vão desde o esgoto cloacal, quase sem tratamento nas cidades, e estendem-se pelo uso indiscriminado de agrotóxicos, pelo desmatamento às



margens dos rios, pela erosão do solo e o consequente assoreamento dos cursos d'água, pela poluição industrial até a depredação por meio de extração de areia (NORONHA et al., 1998).

O Lago Guaíba faz parte da Bacia do Guaíba, onde banha os municípios de Porto Alegre, Eldorado do Sul, Guaíba, Barra do Ribeiro e Viamão (RIO GRANDE DO SUL, 2016). O lago possui uma área de 496 km<sup>2</sup>, tendo cerca de 1,5 km<sup>3</sup> de volume de água. A profundidade média é de 2 m, chegando a 12 m no canal de navegação (PORTO ALEGRE, 2013). Possui 85 km de extensão de terra na margem esquerda, sendo 70 km no Município de Porto Alegre e 100 km na margem direita (PORTO ALEGRE, 2015). A vazão do Guaíba é de 1,2 milhões de L.s<sup>-1</sup> sendo alimentado pelos rios Jacuí (84,6%), dos Sinos (7,5%), Caí (5,2%) e Gravataí (2,7%), abrangendo uma área de drenagem de 1/3 do território do Rio Grande do Sul (PORTO ALEGRE, 2013).

O Guaíba é consequentemente depósito de tudo o que é trazido no percurso dos rios que descem a serra e o planalto, partindo de uma altitude de 1000 metros (NORONHA et al., 1998). Apesar do Guaíba ser o manancial de abastecimento de água de Porto Alegre, recebe carga poluidora de várias naturezas, incluindo os esgotos domésticos in natura, ou parcialmente tratados, além de efluentes industriais e agrícolas (PORTO ALEGRE, 2015). As águas do Guaíba apresentam variações de qualidade, com maior prejuízo nas áreas de margem, onde ocorre menor dispersão das cargas poluentes afluentes (PORTO ALEGRE, 2015). Portanto, as atividades econômicas que abrangem os municípios em torno dos rios que desembocam no Guaíba, bem como o volume de esgoto despejado, contribuem na contaminação por metais, agrotóxicos e carga orgânica, no lago.

## **2.2 Tratamento de água da cidade de Porto Alegre**

Para certificar a qualidade e quantidade da água tratada, cada vez mais se exige esforços dos órgãos responsáveis pelo saneamento básico, em virtude do crescimento populacional associado à melhoria da qualidade de vida. No Brasil, existem cerca de 7500 estações de tratamento de água (BRASIL, 2006), cujos principais objetivos são de classe sanitária, através da remoção e inativação de organismos patogênicos e substâncias químicas que

representem riscos à saúde e de ordem organoléptica, por meio da remoção de turbidez, cor, gosto e odor.

A cidade de Porto Alegre capital do estado do Rio Grande do Sul (RS) possui seu sistema de saneamento básico realizado pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE), onde o principal manancial de abastecimento da cidade é o Lago Guaíba, localizado na região metropolitana de Porto Alegre. O tratamento de água é realizado por seis Estações de Tratamento de Água (ETAs), sendo que cada uma apresenta características diferenciadas, mas que seguem basicamente as mesmas etapas (PORTO ALEGRE, 2015).

O tratamento (Figura 1) inicia com a captação da água do Guaíba até uma Estação de Bombeamento de Água Bruta (EBAB) onde a água passa por um gradeamento para separação de partículas sólidas de grande tamanho. Dependendo da época do ano, principalmente em estações com estiagem, se adiciona Carvão Ativado ainda na EBAB para remoção de compostos orgânicos dissolvidos. Após, a água bruta é enviada por bombeamento ou gravidade dependendo da localização, para uma ETA destinada à distribuição canalizada de água potável. Na ETA, adiciona-se o coagulante na forma de sulfato de alumínio ou poli (cloreto de alumínio) para a floculação dos sólidos em suspensão. Uma volumosa precipitação de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  é produzida, o que confina as partículas sólidas que podem estar em suspensão no suprimento da água (SPIRO; STIGLIANI, 2009). Essa precipitação produz uma suspensão química ou lodo com alto conteúdo de umidade (AWWA, 1978), que quando é coletado e removido, deixa a água bastante clarificada.

O lodo gerado nas ETAs do DMAE é disposto no próprio manancial de captação: Guaíba. Em seguida à decantação, a água passa por filtros rápidos de areia, com capacidade de filtração de 15 a 30  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$  que removem mecanicamente flocos menos pesados de até 15  $\mu\text{m}$ . Depois dos filtros, a água passa pelo processo de desinfecção, que compreende as fases de intercloração (serve para preservar os filtros de contaminações) e pós-cloração (garante a desinfecção da água tratada) (PORTO ALEGRE, 2015) onde é adicionado cloro para eliminação dos microrganismos patogênicos. Em seguida, o hidróxido de sódio que é acrescentado no tratamento para o ajuste do pH atua como agente alcalinizante. Finalmente, antes de a água ir para os

reservatórios e ser distribuída para os domicílios da cidade de Porto Alegre, é aplicado Ácido fluossilícico devido à exigência do Ministério da Saúde Brasileiro para redução de incidência de cárie dentária (BRASIL, 2011).

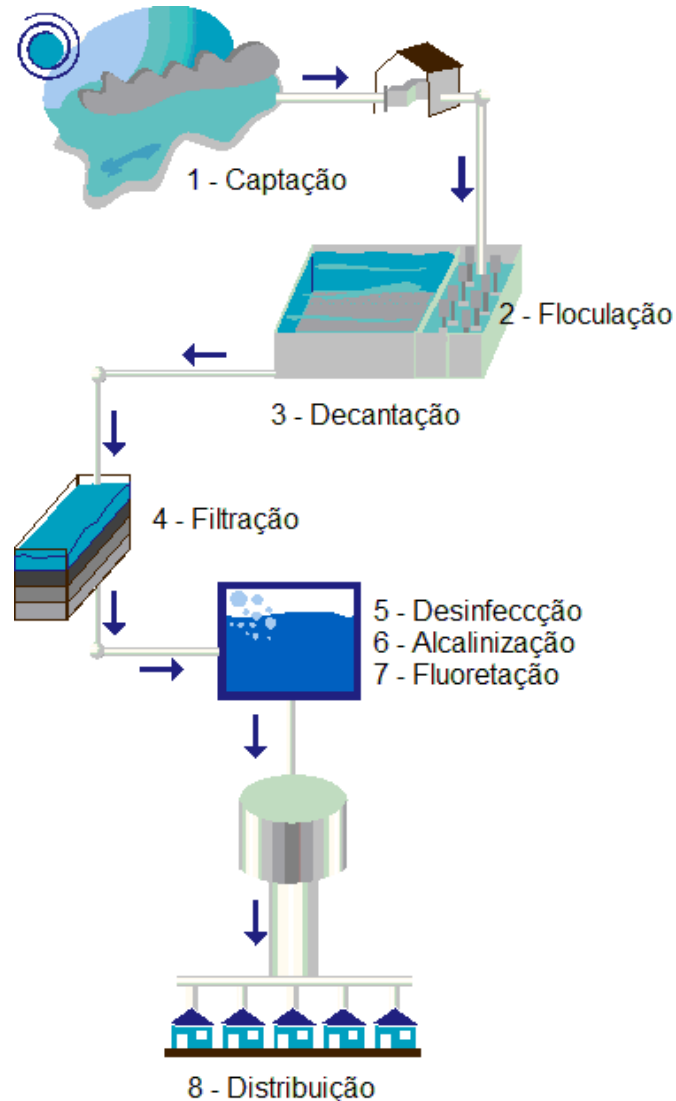


FIGURA 1 – Esquema do tratamento de água. (FONTE: Adaptado de PORTO ALEGRE, 2015)

A ETA São João (SJ) está localizada na Rua Couto de Magalhães, nº 1.700 e Rua Cel. Camisão nº 250, Bairro Higienópolis. A estação, construída em 1957, tem capacidade para funcionar com vazão máxima de  $4.000 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  e possui uma rede de abastecimento com área de 6.786 ha (PORTO ALEGRE, 2013). A captação de água bruta é do tipo superficial feita através de galerias e tubulações em concreto com extensão de 218 m. A capacidade máxima instalada é de  $12 \text{ m}^3$  (PORTO ALEGRE, 2013). O sistema é composto por quatro decantadores do tipo superpulsator, onde a extração do lodo é periódica

através de um sistema sifão automático, não necessitando a parada da operação para lavagens e retirada do lodo e tem doze filtros rápidos com leito de areia (PORTO ALEGRE, 2013). Abastece em mais de 80% os bairros: Vila Ipiranga, São Geraldo, Cristo Redentor, Jardim Lindoia, Navegantes, São Sebatião, Passo da Areia, Santa Maria Goretti, Farrapos, Humaitá, Rubem Berta, Higienópolis, Sarandi, Anchieta, Jardim Floresta, Vila Jardim, Boa Vista, Marcílio Dias e em menores áreas os bairros, Mário Quintana, Jardim Itú-Sabará, Jardim São Pedro, Floresta, São João, Chácara das Pedras, Auxiliadora, Três Figueiras, Jardim Carvalho e Centro Histórico (PORTO ALEGRE, 2013). As características gerais sobre o sistema de tratamento São João E Belém Novo podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características gerais das Estações de Tratamento de Água

<b>Características</b>	<b>São João</b>	<b>Belém Novo</b>
Recalque de Água Bruta (L.s <sup>-1</sup> )	4000	1000
Floculação (L.s <sup>-1</sup> )	---	1000
Decantação (L.s <sup>-1</sup> )	4000	1000
Filtração (L.s <sup>-1</sup> )	4000	1000
Vazão Média (L.s <sup>-1</sup> )	1.732	549
Vazão Máxima (L.s <sup>-1</sup> )	1.897	605
Reservação da ETA (m <sup>3</sup> )	15.000	4.000

(FONTE: Adaptado de PORTO ALEGRE, 2013)

A ETA Belém Novo (BN) está localizada na Rua Inácio Antônio da Silva, 300, Bairro Belém Novo. A estação tem capacidade para funcionar com vazão máxima de 1.000 L.s<sup>-1</sup> e possui uma rede de abastecimento com área de 5.979 ha (PORTO ALEGRE, 2013). A captação de água bruta é feita por rede submersa à margem esquerda do Guaíba, em frente ao Beco Copacabana. Em 2002/2003 foi implantada nova adutora em polietileno de 1.200 mm que se estende por 2 km, até próximo ao canal de navegação (PORTO ALEGRE, 2013). O sistema também é composto por decantadores do tipo superpulsator e por filtros rápidos com leito de areia. Abastece no todo ou em parte os bairros Belém Novo, Chapéu do Sol, Lageado, Restinga, Hípica, Lami, Espírito Santo, Campo Novo, Aberta dos Morros, Ponta Grossa, Lomba do Pinheiro, Cascata e Belém Velho (PORTO ALEGRE, 2013).

### **2.3 Lodo residual de Estação de Tratamento de Água**

No processo de tratamento de água, variados componentes são adicionados, produzindo resíduos principalmente na etapa de decantação, sendo chamados de lodo de ETA, que são removidos por sedimentação e filtração (TSUTIYA; HIRATA, 2001). Os lodos formados nas ETAs podem ter suas características muito distintas, dependendo essencialmente das condições da água bruta, dosagem, produtos químicos e tecnologia utilizada no tratamento, entre outros fatores (REALI et al., 1999). Silva e Isaac (2002) caracterizam o lodo de ETA como um fluido não-newtoniano, volumoso e tixotrópico, que em repouso apresenta-se em estado gel e quando agitado possui característica relativamente líquida.

O lodo de ETA é composto de resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos provenientes da água bruta, tais como: bactérias, vírus, algas, partículas orgânicas em suspensão, colóides, argila, siltes, areias, ferro, cálcio, magnésio, manganês, etc (GRANDIN et al., 1993). Silva et al. (2000) listam também grande quantidade de hidróxidos de alumínio na composição do lodo, procedentes de produtos químicos e em alguns casos de polímeros condicionantes utilizados no tratamento. Reali et al. (1999) indicam que além de parâmetros tradicionais de saneamento, se deve atentar também ao tipo e tamanho das partículas do lodo de ETA.

A destinação de lodo de ETA em águas superficiais é o método mais econômico, no entanto pode gerar diversos impactos ambientais devido a possíveis poluentes contidos na fonte de água, além dos compostos químicos adicionados no tratamento que podem alterar a qualidade da água receptora (AWWA, 1966). No entanto, a prática de descarte de lodo em águas superficiais está cada vez mais se tornando inviável, devido a restrições legais para preservação da saúde pública e vida aquática.

O lodo possui entre 1 a 4% de sólidos totais, onde aproximadamente 70 a 90% são sólidos suspensos, entre 20 a 35% são compostos voláteis e uma pequena proporção biodegradável prontamente oxidável (RITCHER, 2001), sendo classificado como resíduo sólido (AWWA, 1978). No Brasil a definição de resíduos é dada pela Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), na qual os lodos gerados em estações de tratamento de água se enquadram como resíduos sólidos, bem como torna inviável a destinação em corpos d'água,

conforme o Art. 3, inciso XVI. A NBR 10.004:2004 (ABNT, 2004) inclui em sua definição de resíduos sólidos, lodos de sistemas de tratamento de água, estando em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Portanto, o lançamento desses resíduos em corpos d'água, infringe o Art. 47, inciso I, da Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), que proíbe o lançamento em praias, no mar ou em qualquer corpo hídrico. Os lodos das estações de tratamento de água do município de Porto Alegre, apresentam concentrações de sólidos totais em torno de 3% quando analisados *in natura*, e de 17% quando analisados secos (Tabela 2).

Tabela 2 - Sólidos do lodo bruto e desidratado (adaptado de BIDONE et al., 1997).

<b>Características</b>	<b>Lodo bruto</b>	<b>Lodo desidratado</b>
Sólidos totais (%)	3,50	16,76
Sólidos totais fixos (%)	2,48	9,44
Sólidos totais voláteis (%)	1,02	7,32

Resultados expressos em base seca 105 – 110°C.

### **2.3.1 Toxicidade do lodo**

O teor dos metais presentes na composição dos lodos de ETAs pode determinar o seu potencial tóxico, assim como características físicas e químicas e as condições de disposição desses resíduos (BARROSO e CORDEIRO, 2001a). A toxicidade do lodo, também é decorrente das reações sofridas durante o tratamento, forma e tempo de retenção, características do corpo hídrico, composição e impureza dos coagulantes e outros produtos químicos usados no processo (BARROSO e CORDEIRO, 2001a). Embora existam resultados que indicam efeitos deletérios, diretos ou indiretos do alumínio à vida aquática, poucos trabalhos que abordam a toxicidade dos lodos de estações de tratamento de água compõe o estado atual do conhecimento (BARBOSA et al., 2000). Estes autores verificaram que lodos provenientes de duas ETAs do Estado de São Paulo, que utilizam como coagulante cloreto férrico e sulfato de alumínio não causaram toxicidade aguda aos organismos teste, verificando-se apenas indícios de toxicidade.

O lodo da ETA que utiliza cloreto férrico causou toxicidade crônica, evidenciada por meio de baixa produção dos organismos testes e alta taxa de

mortalidade, enquanto o lodo da ETA que utiliza sulfato de alumínio causou toxicidade crônica evidenciada apenas em relação à produção dos organismos teste. Desse modo, concluiu-se que a disposição *in natura* dos efluentes das ETAs estudadas prejudica a biota aquática, comprometendo a qualidade da água e do sedimento dos corpos receptores (BARBOSA et al., 2000).

O efeito do alumínio na desidratação no lodo de estações de tratamento de água do município de Porto Alegre foi avaliado por Aboy (1999). Esta autora verificou que as análises do líquido drenado nos leitos de secagem (construídos para sua dissertação), apresentaram baixas cargas de alumínio e sem diferença estatística, indicando que o alumínio ficou praticamente todo retido na massa desidratada. Apesar de não haver avaliação dos possíveis fatores desse fenômeno nesse estudo, considera-se que houve a formação de complexos metálicos estáveis através da capacidade adsortiva/quelante da componente orgânica do lodo.

### **2.3.2 Microrganismos patogênicos**

Os mais diversos ambientes abrigam microrganismos, que podem ser bactérias, fungos, protozoários, algas microscópicas ou vírus. Normalmente são relacionados a doenças, no entanto apenas uma minoria é considerada patogênica (TORTORA; FUNKE; CASE, 1995). Os resíduos de estação de tratamento de água, por serem constituídos de elementos presentes na água bruta, que muitas vezes incluem descarga de esgotos domésticos, podem conter, mesmo que em frações mínimas, microrganismos patogênicos. O material fecal contido no esgoto é a principal fonte de contaminação microbiológica do lodo. Portanto, o caráter patogênico desse material, depende das características epidemiológicas da população local e dos efluentes lançados na rede coletora (ANDREOLI, 2001).

Apesar de poder ser encontrados, vírus, fungos, bactérias e parasitas, a maioria desses organismos é inofensiva, sendo somente alguns grupos de patógenos considerados perigosos pelo risco que representam para a saúde humana e animal (ANDREOLI, 2001). Apesar de não haver uma legislação específica para lodo de estação de tratamento de água, a resolução nº 375 do Conama (2006) que dispõe sobre o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos

derivados, utiliza coliformes termotolerantes como indicador de potencial patógeno. O grupo de bactérias coliformes é um indicador de contaminação. As bactérias do grupo “coliforme termotolerante” são formados por um número de bactérias que inclui os gêneros *Klebsiella* e *Escherichia* (LECT, 2017).

### 2.3.3 Agrotóxicos em lodo

Atualmente, países em diferentes níveis de desenvolvimento possuem graves problemas com o uso de agrotóxicos. Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), estimam-se que três milhões de pessoas sejam contaminadas por agrotóxicos em todo o mundo, sendo que os países em desenvolvimento são os mais afetados (MIRANDA et al., 2007). A contribuição dos agrotóxicos para o abastecimento de alimentos no mundo todo é relevante, no entanto na maioria das vezes o seu aspecto toxicológico não é contabilizado. Os principais meios de contaminação por agrotóxicos nos recursos naturais, segundo Hayes Junior e Laws Junior (1991) ocorrem pela disposição na água de lavagem de equipamentos, escoamento, lixiviação e percolação no solo e na água subterrânea e de outras fontes difusas de contaminação. O monitoramento de qualidade de bacias hidrográficas e fontes de abastecimento público de água no Brasil avaliam as mudanças espaciais e temporais, por meio de indicadores físico-químicos, nutrientes, alcalinidade, contribuintes inorgânicos e avaliação microbiológica. Porém, em relação aos agrotóxicos, os estudos são muito incipientes (MARQUES et al, 2003; HARDER et al., 2016).

O resíduo sólido produzido nas estações de tratamento de água possui a maior parte constituída de alumínio, ferro, silício e matéria orgânica, sendo 0,3 a 1,0% do volume da água tratada (HOPPEN et al., 2005). Essa fração pode adsorver os resíduos de agrotóxicos pela matéria orgânica, quando presentes na água bruta. Uma revisão preliminar da *Environmental Protection Agency Share* (EPA) dos Estados Unidos, por meio do *Office of Pesticide Programs* (USEPA, 2001), que revisa, aprova e classifica produtos agrotóxicos, indicou que o tratamento de água convencional à base de coagulação/floculação, sedimentação e filtração, tem pequeno ou nenhum efeito sobre a remoção de agrotóxicos hidrofílicos e lipofóbicos (MORACCI, 2008). Contudo, a desinfecção e abrandamento, que habitualmente são



aplicados em muitas estações de tratamento, podem facilitar a alteração da estrutura química ou transformação dos compostos, e inclusive sua degradação, em razão dos desinfetantes usados, tempo de contato e potencial de hidrólise alcalina de cada composto (MORACCI, 2008).

Ormad et al. (2008) avaliaram a efetividade do tratamento de água para consumo humano na remoção de 44 agrotóxicos detectados em sua área de trabalho, na bacia do Rio Ebro na Espanha e chegaram à conclusão de que compostos hidrofóbicos e lipofílicos podem ser removidos com eficiência pelo tratamento convencional, desde que associado com outras práticas completares de desinfecção. Consideraram como um tratamento eficiente, aqueles que a porcentagem de remoção dos compostos são acima de 70% e concluíram que a pré-oxidação por ozônio combinado com adsorção de carbono ativado foi o mais eficiente alcançando em torno de 90% de remoção. A pré-oxidação com cloro obteve a média de 60% de degradação dos compostos, entretanto sua combinação com o processo de coagulação/floculação/decantação mostrou ser ainda mais efetivo na remoção da maioria dos agrotóxicos. Porém, o processo de coagulação/floculação/decantação sem associação com outra prática, não produziu efeito na eliminação dos compostos, sendo considerado o menos eficiente. No Brasil, a legislação não considera limites máximos permitidos de traços de agrotóxicos em lodo, ainda assim, os parâmetros de potabilidade da água nacionais e internacionais, podem guiar para a determinação desses compostos e garantir uma melhor qualidade da água (MORACCI, 2008).

#### **2.4 Uso do lodo de ETA no solo para o cultivo de plantas**

O lodo de tratamento de água quando aplicado no solo, pode gerar alguns benefícios, como a melhoria estrutural do solo, a complementação de traços minerais, o ajustamento do pH, o aumento da capacidade de retenção da água e a melhoria da aeração do solo (TSUTIYA, 2001). Porém, deve-se atentar ao efeito do alumínio, já que ele pode diminuir a disponibilidade de fósforo às plantas e/ou, em excesso, pode acarretar toxicidade à maioria das plantas cultivadas (MOTTA et al., 2005). Segundo Moreira et al., (2009), o lodo pode ainda auxiliar na distribuição horizontal de matéria orgânica, cálcio trocável e manganês disponíveis, entre outros benefícios.

Os principais elementos tóxicos, como cromo, mercúrio, chumbo, zinco, cobre, níquel e cádmio, podem ser comumente encontrados em lodos sanitários e ainda causam problemas bastante preocupantes quando absorvidos em grandes quantidades pelas plantas e posteriormente ingeridos pelo homem ou animais (CHANEY; STEWART 1977). Quando os elementos tóxicos se encontram solubilizados na fração líquida do solo, tornam-se mais disponíveis às plantas, portanto os limites de metais para solos agrícolas devem ser bastante baixos (WALDEMAR, 1992).

A disposição de lodo de estação de tratamento de água em solo degradado já acontece no Distrito Federal, onde o lodo oriundo de tratamento com sulfato de alumínio férrico como coagulante, é centrifugado e encaminhado para recuperação de área degradada de cascalheira desativada (BARBOSA, 1997). Em outro estudo nessa mesma área, Moreira et al. (2009) identificou efeitos benéficos da aplicação de lodo, como a transferência de nutrientes para os horizontes mais profundos do solo, permitindo a fixação da vegetação. Entretanto, verificou também, que o alumínio (Al) trocável e chumbo (Pb) anteriormente disponíveis no solo, foram imobilizados.

Conforme Teixeira, Melo e Silva (2005), o uso de um resíduo orgânico junto com o lodo de estação de tratamento de água, pode potencializar efeitos positivos na recuperação de áreas degradadas. Ainda sugerem que, esse outro resíduo, pode ser o lodo gerado em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), já que possui um elevado valor agrônômico, riqueza em nutrientes e matéria orgânica, bem como nitrogênio e fósforo (TAMANINI et al., 2008). Na Uganda, Kaggwa et al. (2001) em um estudo que observava o impacto do descarte de lodo com presença de alumínio em banhado, demonstraram que o lodo afetou negativamente a produtividade da *Cyperus papyrus*. Banhados que recebiam descartes contínuos de lodo, tiveram a produtividade da espécie reduzida de 13-14 g.m<sup>-2</sup> para 5 g.m<sup>-2</sup>. Apesar de não serem observadas sintomas de toxicidade por alumínio nas plantas, anomalias em suas raízes foram verificadas por análise microscópica. Supõe-se que a presença do lodo pode imobilizar o fósforo no ambiente, tornando-o indisponível e causando as anomalias nas raízes.

Segundo Barroso e Cordeiro (2001b) o lodo de ETA pode apresentar efeitos positivos ou negativos na disposição final e, inclusive, na reutilização

destes resíduos, devido a ações tóxicas de alguns metais presentes, como cobre, zinco, níquel, chumbo, cádmio, cromo e magnésio e, em especial, o alumínio. Portanto, devido ao possível potencial toxicológico do lodo, sugere-se que ao ser reaproveitado, seja empregado em culturas onde não haja consumo humano direto. Com isso, plantas decorativas e ornamentais, podem ser uma alternativa recomendada para plantio com uso de lodos.

A floricultura compreende atividades produtivas e comerciais relacionadas ao mercado das espécies vegetais cultivadas com finalidades ornamentais. É uma das mais novas, dinâmicas e promissoras atividades do segmento. A partir da década de 1950, através do trabalho e iniciativa de imigrantes holandeses, alemães e poloneses, a atividade teve sua iniciada comercial. Na última década, começou a receber estímulo de crescimento, devido ao progresso de indicadores socioeconômicos, pelas melhorias no sistema distributivo destas mercadorias e pela expansão da cultura do consumo das flores e plantas como elementos expoentes de qualidade de vida, bem-estar e reaproximação com a natureza (SEBRAE, 2015). Atualmente no Brasil, existem cerca de 7800 produtores que cultivam flores e plantas ornamentais, além dos produtores específicos para gramas esportivas e ornamentais (SEBRAE, 2015). A maior parte desses produtores concentram-se na região sudeste e sul do país, sendo que o estado do Rio Grande do Sul possui um percentual de produção de 19,5% (SEBRAE, 2015).

A produção de flores e plantas ornamentais no Rio Grande do Sul já é bastante antiga, praticada basicamente por imigrantes alemães e japoneses, na Região Metropolitana de Porto Alegre, na Serra Gaúcha e na Região das Hortênsias (SEBRAE, 2015). Os produtores de flores e plantas ornamentais consumiram um valor estimado em R\$ 83 milhões em adubos e fertilizantes no ano de 2015 no Brasil, sendo responsável por 6% do faturamento (MAPA, 2015). No entanto, alguns produtores conseguem reduzir o valor gasto com esses produtos produzindo o próprio material utilizado na etapa de cultivo agrícola, como uma mistura específica de algumas substâncias (MAPA, 2015). Nesse contexto, estima-se que o lodo oriundo do processo de tratamento de água, por possuir características que podem auxiliar na correção de pH, e na estruturação do solo, pode servir como um substitutivo e/ou complemento aos insumos adicionados no cultivo de plantas ornamentais.

Dentre as plantas ornamentais mais comercializadas no país, destacamos a grama bermuda (*Cynodon dactylon*) e o alisso (*Lobularia marítima* (L.) Desv.). A grama bermuda possui diferentes denominações por parte da população. Da família Poaceae, é uma monocotiledônea cujo nome científico é *Cynodon dactylon*. As gramíneas do gênero *Cynodon* são conhecidas por seu caráter colonizador, invasor e cosmopolita, sendo encontradas nas regiões tropicais e subtropicais (LEITE; MACHADO, 1999). As folhas dessa espécie são estreitas e de coloração verde intensa. Normalmente é recomendada para parques e campos esportivos, como campos de futebol, golfe, pólo, playgrounds e afins. Com considerável maciez e resistência ao pisoteio, a grama bermuda tem regeneração e crescimento rápido, necessitando ser aparada com frequência (MOREIRA; BARRETO; ALMEIDA, 2010).

Nos comércios específicos estão disponíveis diversas cultivares, apropriadas para cada situação, sendo comumente encontrada na forma de sementes, mudas e placas (MOREIRA; BARRETO; ALMEIDA, 2010). Sob o aspecto ecológico, *Cynodon dactylon* é uma espécie invasora, adaptada às regiões mais quentes, estando distribuídas largamente no Brasil (VIEIRA, 2012). Pode ser encontrada infestando lavouras anuais perenes, beira de estradas e terrenos baldios (VIEIRA, 2012). Mesmo possuindo pouca exigência em manutenção, suas recomendações para cultivo indicam que seja exposta a luz solar e que seja semeada em solos férteis com adubações e regas regulares. Possui tolerância a secas e a altas temperaturas. Multiplica-se por sementes, estolões e rizomas. A aplicação de lodos de ETA no cultivo de gramas, aumenta a aeração e a capacidade de retenção de líquido no solo, e também, fornece nutrientes adicionais às plantas (TSUTIYA, 2001).

O aliso é uma das plantas ornamentais mais cultivadas no mundo, possuindo diversas variações de cores, normalmente sendo encontrada na cor branca. Também é comumente conhecida como Flor-de-mel. Da família Brassicaceae, é uma dicotiledônea de nome científico *Lobularia marítima* (L.) Desv (PATRO, 2016). É uma planta que produz inflorescências com muitas flores pequenas de cor arroxeadas e folhagem de cor verde. Pode ser plantada em jardineiras com outras flores ou isolada. É encontrada em regiões de climas subtropical, temperado e tropical, sendo que sua época de semeadura varia em

torno de agosto a fevereiro. Devem ser cultivadas a pleno sol com regas regulares e multiplica-se por sementes (PATRO, 2016).

## **2.5 Qualidade da água de mananciais para abastecimento público**

Conforme Brasil (2017), manancial de abastecimento público é a fonte de água doce superficial ou subterrânea utilizada para consumo humano ou desenvolvimento de atividades econômicas. A conservação de mananciais é desejável e fundamental para a produção de água para consumo humano de melhor qualidade e sujeita a menores riscos potenciais à saúde, segundo Reis (2004). As áreas contendo os mananciais devem ser alvo de atenção específica, contemplando aspectos legais e gerenciais (BRASIL, 2017). Os municípios devem possuir responsabilidades quanto a ações para evitar degradação de seus mananciais, no entanto, salvo algumas exceções, normalmente não possuem essa visão (REIS, 2004). Com isso, a Portaria N° 518 de 25 de março de 2004 (BRASIL, 2004), que estabelece procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, considera pela primeira vez, a responsabilidade do município sobre o manancial de onde capta sua água (REIS, 2004). O uso humano da água requer qualidade relativa de acordo com cada atividade demandada, no entanto o uso de águas contaminadas pode ser restringido em função da carga poluidora que possa existir.

A Resolução N° 357, de 17 de março de 2005 do CONAMA (CONAMA, 2005), dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabelecendo condições e padrões de lançamento de efluentes, ordenando em classes de características.: a) Classe especial: águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e, à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral. b) Classe 1: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam

ingeridas cruas sem remoção de película; e à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas. c) Classe 2: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e à aquicultura e à atividade de pesca. d) Classe 3: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário; e à dessedentação de animais. e) Classe 4: águas que podem ser destinadas à navegação; e à harmonia paisagística.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Coleta do lodo de Estações de Tratamento de Água

As coletas na Estação de Tratamento de Água São João (ETA-SJ), na zona norte de Porto Alegre (30°00'51.78"S;51°11'05.19"O) e na Estação de Tratamento de Água Belém Novo (ETA-BN), na zona sul de Porto Alegre (30°12'34.05"S;51°10'36.49"O) foram realizadas na segunda quinzena de julho de 2016. As amostras foram coletadas após o desmembramento da água superficial dos decantadores, durante descarte do lodo. Em primeiro momento o lodo da ETA-SJ apresentava aspecto aquoso e após a decantação apresentou forma pastosa-liquida uniforme e homogêneo, com coloração cinza escuro. Já o lodo da ETA-BN em primeiro momento o lodo apresentava aspecto aquoso e após a decantação apresentou forma pastosa-liquida uniforme e homogêneo, com coloração marrom acastanhado.

O lodo (Figura 2) foi coletado nas Estações de Tratamento de Água (ETA) São João e Belém Novo, localizadas no município de Porto Alegre. Para maior representatividade, as coletas aconteceram no período de cinco dias para cada estação de tratamento de água, no mês de Julho de 2016, constituindo amostras compostas de cada estação, conforme o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos, da CETESB (BRASIL, 2011).

Em cada estação, foram retirados 96 litros diários de lodo com água, depois de sedimentarem nos próprios baldes, a água sobrenadante era eliminada de volta na própria saída de descarte do lodo. Após a mistura de todas as porções, as amostras foram protegidas da luz e armazenadas em refrigerador a temperatura de 4°C até o início das análises. Em consenso com o DMAE, as estações foram escolhidas em virtude da disponibilidade de acesso ao material, em comparação com as outras ETAs, devido ao seu mecanismo de decantação superpulsator que elimina o lodo constantemente, assim como pela localização geográfica, que por estarem estabelecidas em

regiões com diferentes concentrações populacional, podem apresentar distintas composições de lodo.



FIGURA 2 – Lodo após coleta.

Primeiramente, de acordo com a literatura (ANDREOLI, 2001) as amostras de água e lodo "in natura" foram preparadas em tubos de centrífuga de polipropileno (PP), de 30 mL, para a separação do sobrenadante do material sólido por centrifugação. Com a utilização de uma centrífuga normal de laboratório essa prática se tornou inviável já que a água não se desprendia por completo da parte sólida, mesmo em diversas rotações e tempos, tornando dificultosa a retirada do material dos tubos e ocorrendo muita perda de lodo. Com isso, seguindo alguns estudos (OLIVEIRA; MACHADO; HOLANDA, 2004; GUERRA, 2005; MARGEM, 2008) com resíduos de ETA, o lodo foi seco em estufa a 60°C, destorroado e peneirado manualmente. Após essa etapa as matérias-primas foram submetidas a ensaios de caracterização.

### **3.2 Caracterização do lodo das Estações de Tratamento de Água**

A turbidez foi medida com um turbidímetro portátil (Akso® TU430). O potencial de oxidação-redução foi medido com um aparelho portátil (Akso® AK60). A condutividade elétrica (CE), o pH e o oxigênio dissolvido (OD) foram analisados com um medidor portátil multiparâmetros (Akso® AK88) no



momento da coleta do lodo. Na Tabela 3 pode-se observar o resultado da média simples das análises em campo, do lodo *in natura*, realizadas nos dias de coletas. A umidade do lodo foi medida através diferença do peso úmido e do peso seco em estufa a 65°C, até estabilizar o peso. Os valores foram expressos pela média de três repetições.

Tabela 3 – Características químicas e físicas dos lodos de ETAs estudadas.

<b>Indicadores</b>	<b>São João</b>	<b>Belém Novo</b>
Temperatura (°C)	23,7	23,4
pH	6,8	6,7
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	8,5	8,4
CE (µS.cm <sup>-1</sup> )	82,7	90,6
Turbidez (NTU)	952	342
Potencial de oxidação (+mV)	160	175
Umidade (%)	90,58	95,21
Massa Seca (%)	9,42	4,79

OD = oxigênio dissolvido; CE = Condutividade Elétrica.

A composição química das amostras de lodo e de solo foi feita no Laboratório de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde os elementos fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, sódio, selênio, arsênio, cádmio, chumbo, cromo, cobre, zinco, ferro, manganês, molibdênio, níquel, vanádio e bário foram analisados por digestão úmida nítrico-perclórica, e o boro analisado por digestão seca em espectrômetro de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES), segundo Tedesco et al. (1995). O carbono orgânico foi medido por combustão úmida, segundo Tedesco et al. (1995). O nitrogênio foi analisado pelo método Kjeldahl (1883). Para análise do mercúrio, foi utilizada a metodologia EPA 7471A, aprovada para medir o mercúrio total (orgânico e inorgânico) em solos, sedimentos, e materiais como o lodo.

Os agrotóxicos foram analisados no lodo *in natura*, pelo Laboratório NSF Bioensaios (Viamão, RS), através de cromatografia líquida de alto desempenho (HPLC) acoplado a espectroscopia de massa (MS) de triplo quadrupolo. Para a determinação de compostos orgânicos, a cromatografia líquida acoplada à espectrometria de massas, é uma das ferramentas

analíticas mais precisas atualmente. Com alto grau de seletividade e sensibilidade, possibilita a quantificação e identificação livre de interferentes e com limites de detecção muito baixos, de compostos presentes em matrizes complexas como fluidos biológicos, alimentos e amostras ambientais (MORACCI, 2008).

Foi realizado um screening (levantamento expedito para confirmar ou não a suspeita de contaminação através de rastreamento, reconhecimento e varredura) de 223 princípios ativos de agrotóxicos (apresentados no Apêndice 1), dentre eles alguns dos compostos mais utilizados na agricultura brasileira hoje em dia, como a cipermetrina, atrazina, metamidofós, acefato e carbendazim (IBAMA, 2013). Atendendo a maior parte das aplicações, o limite de detecção ficou entre 95% a 99% de confiança (INMETRO, 2003). Para o processo de validação da análise, adicionou-se o padrão na matriz e no solvente puro, em cada nível de concentração de interesse. A caracterização dos compostos foi realizada em modo positivo, MS (*Q1 Scan*), e MS/MS (*Product Ion Scan* e *Precursor Ion Scan*). Utilizou-se o sistema *Multiple Reaction Monitoring* (MRM), para as análises quantitativas.

Os coliformes foram analisados no Laboratório NSF Bioensaios segundo Standard Methods (APHA, 1995). A água e resíduos sólidos de tratamento de água, que possuem alto teor de umidade, podem apresentar microrganismos potencialmente nocivos, já que muitos tipos de doenças são transmitidos pela água. Entretanto, testar todos microrganismos potencialmente patogênicos seria muito trabalhoso e caro. Assim, é mais comum a verificação da presença ou concentração de coliformes termotolerantes, que estão presentes no sistema digestivo de animais de sangue quente. Normalmente não são nocivos, mas são usados como indicativo de contaminação de fezes humanas (ou mais raramente de outros animais) (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

As amostras foram analisadas no Laboratório de Microscopia Óptica do Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS), utilizando um microscópio binocular da marca Opton, com magnificação de até 100x. As amostras foram analisadas com magnificação de 5x e 50x para lodo de cada estação. Os registros foram feitos com máquina fotográfica digital. Para conhecimento da morfologia das partículas que constituem o lodo, as amostras foram analisadas

no Centro de Microscopia Eletrônica da UFRGS por microscopia eletrônica de varredura, utilizando um equipamento Zeiss EVO MA10 de varredura convencional, com filamento de tungstênio que opera em tensões de 0.2 kV até 30 kV e resolução nominal de 3 nm operando com 8-15 kV. Essa análise permite visualizar o relevo superficial e a morfologia do material com excelente profundidade de foco. O lodo seco e peneirado como descrito anteriormente, foi montado no suporte porta-amostras do mev (“stub”) com fita adesiva dupla face, de forma a obter orientação adequada em relação ao feixe de elétrons e ao coletor. Para aumentar a condutividade superficial, evitando o carregamento da superfície com elétrons, foram aplicadas na superfície das amostras, uma camada de ouro ou de carbono, com 20-30 nm de espessura. Após a metalização, as amostras foram examinadas com o MEV com magnificação de 80x, 400x e 2000x, sob voltagem de aceleração de 8.0 kV.

Para análise da composição mineralógica, foi utilizada a técnica de difração de raios-X. O equipamento utilizado pertence ao Laboratório de Mineralogia de Solos da UFRGS, marca Bruker, modelo D2 Phaser, empregando radiação  $\text{CuK}\alpha$  [ $\lambda = 1,54 \text{ \AA}$ ], passo =  $0,020^\circ$  e amplitude ( $2\theta$ ) de 4 a  $70^\circ$ .

### **3.3 Uso do lodo de ETA no solo para o cultivo de plantas**

Para a realização do experimento em vasos, foram adicionadas diferentes doses de lodo seco em vasos, com o cultivo de dois tipos de espécies de plantas ornamentais. O experimento foi conduzido com cinco tratamentos (0%, 5%, 10%, 15% e 20%) e três repetições cada. Levando em consideração um tipo de solo, dois tipos de lodo e duas espécies de plantas, o experimento possuiu 60 vasos ao total, sendo uma planta por vaso, onde cada espécie de planta foi cultivada com os dois tipos de lodo em suas diferentes dosagens e em vasos diferentes.

O experimento foi realizado conforme a norma 208 da OECD - *Organisation for Economic Co-Operation and Development* (OECD, 1984), onde se avaliou a biomassa (raiz e parte aérea) das plantas, a partir da massa seca, de modo a poder caracterizar diferenças no peso das plantas. O lodo foi cuidadosamente homogeneizado na mistura com solo do tipo Latossolo nos vasos, sem adição de qualquer outro componente na mistura. O solo base

utilizado para os vasos foi um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (soil taxonomy: Haplorthox; FAO: Rhodic Ferralsols), do município de Marau, caracterizado no Laboratório de Solos da Faculdade de Agronomia. A escolha do solo se deu, por Latossolos serem solos bastante característicos do Brasil e em geral contém baixa concentração de nutrientes para as plantas, o que sugere a sua mistura com outros materiais orgânicos e inorgânicos, como no caso o lodo. A semeadura ocorreu cerca de 5 dias após a adição de lodo nos solos. Para cada lodo (São João e Belém Novo), semeou-se *Cynodon dactylon* e *Lobularia marítima* (L.) Desv. A retirada das plantas para análise ocorreu 70 dias após a germinação.

O Latossolo Vermelho-Escuro distrófico (soil taxonomy: Haplorthox; FAO: Rhodic Ferralsols), foi obtido no município de Marau (28°24'46.4"S e 52°14'21.9"O), na Rota das Salamarias, próximo à rodovia RS 324, em 19 de agosto de 2016. O solo foi coletado em uma camada de 0-20 cm, sendo caracterizado por metodologia usual (TEDESCO et al., 1995) no Laboratório de Análises de Solo da Faculdade de Agronomia da UFRGS. Após a coleta, o solo foi submetido às recomendações do manual de Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas de Bissani et al. (2004) para calagem, baseadas no índice SMP para pH 6,0, com calcário.

A análise granulométrica do Latossolo utilizado apresentou 19% de areia, 25% de silte e 56% de argila. Além disso, o solo foi caracterizado como ácido, possuindo pH em H<sub>2</sub>O de 4,8, Índice SMP de 5,8 e 3% de matéria orgânica. Quanto as cargas trocáveis, possui Al trocável em 0,4 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>, Ca trocável em 7,2 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>, Mg trocável 2,8 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup> e Al+H 5,5 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>. A capacidade de troca de cátions (CTC) foi de 16,1 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>, com 66% de saturação por bases e 3,8% de saturação de Al na CTC. Verificou-se P 22 mg.dm<sup>-3</sup>, K 225 mg.dm<sup>-3</sup>, S 7,7 mg.dm<sup>-3</sup>, Zn 8,8 mg.dm<sup>-3</sup>, Cu 4,2 mg.dm<sup>-3</sup>, B 0,6 mg.dm<sup>-3</sup>, Mn 16 mg.dm<sup>-3</sup>, Fe 2,8 mg.dm<sup>-3</sup> e Na 11 mg.dm<sup>-3</sup>. Outras características analisadas, como alguns elementos traços, obteve-se Hg 0,07 mg · kg<sup>-1</sup>, Cd < 0,2 mg · kg<sup>-1</sup>, Ni 15 mg · kg<sup>-1</sup>, Pb 29 mg · kg<sup>-1</sup>, Mb < 0,2 mg · kg<sup>-1</sup>, Se < 4 mg · kg<sup>-1</sup>, Ba 50 mg · kg<sup>-1</sup> e As < 2 mg · kg<sup>-1</sup>.

As sementes de *Cynodon dactylon* e *Lobularia marítima* (L.) Desv utilizadas no experimento são oriundas, respectivamente, de Isla Sementes® e Sementes Vidasul, com garantia de 90% de germinação pelos fabricantes. A

época de semeadura da *Cynodon dactylon* compreende o ano todo, sendo recomendado plantio de setembro a janeiro para a região Sul. A época de semeadura da *Lobularia marítima* (L.) Desv também é o ano todo, em clima ameno, seja em sementeira ou no solo.

Com as análises de macro, micronutrientes e elementos traços no solo e no lodo, foi possível mensurar o aporte de lodo no solo sob diferentes concentrações, como consta na Tabela 4.

Observa-se de modo geral que o aporte de ferro é elevado. A diluição desta quantidade nas diferentes concentrações de lodo no solo não foi suficiente para diminuir a concentração deste elemento. Os demais elementos presentes encontram-se em quantidades menores e nenhum se destaca como potencial efeito negativo ao desenvolvimento das plantas.

Tabela 4 - Aporte de elementos ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) no solo com a aplicação de diferentes porcentagens de lodo de ETA no solo.

Dose (%)	Lodo de São João				Lodo de Belém Novo			
	5	10	15	20	5	10	15	20
----- Macronutrientes -----								
C.O	4150	8300	12450	16600	2000	4000	6000	8000
N	245	490	735	980	210	420	630	840
P	90	180	270	360	80	160	240	320
K	155	310	465	620	170	340	510	680
Ca	100	210	300	390	80	160	240	320
Mg	155	310	465	620	185	370	555	740
S	70	140	210	280	60	120	180	240
----- Micronutrientes -----								
Fe	1650	3300	4950	6600	1750	3500	5250	7000
Mn	18,4	36,8	55,2	73,6	39,75	79,5	119,25	159
Cu	3,5	7	10,5	14	2,95	5,9	8,85	11,8
Zn	6,2	12,4	18,6	24,8	6,7	13,4	20,1	26,8
Ni	1,4	2,8	4,2	5,6	1,4	2,8	4,2	5,6
B	0,3	0,6	0,9	1,2	0,25	0,5	0,75	1
----- Outros elementos -----								
Ba	8,45	16,9	25,35	33,8	11,75	23,5	35,25	47
Na	30,45	60,9	91,35	121,8	29,8	59,6	89,4	119,2
Cr	1,4	2,8	4,2	5,6	1,25	2,5	3,75	5
V	5,85	11,7	17,55	23,4	5,65	11,3	16,95	22,6
Hg	0,004	0,008	0,012	0,016	0,004	0,008	0,012	0,016

C.O = Carbono orgânico; N = Nitrogênio; P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; S = Enxofre; Fe = Ferro; Mn = Manganês; Cu = Cobre; Zn = Zinco; Ni = Níquel; B = Boro; Ba = Bário; Na = Sódio; Cr = Cromo; V = Vanádio; Hg = Mercúrio.

### **3.4 Avaliação da qualidade da água do Guaíba**

Para maior conhecimento a respeito do lodo, é importante que se conheçam as características do manancial, bem como composições e impurezas de elementos que podem ser poluentes (BARROSO e CORDEIRO, 2001a). Com objetivo de identificar as características dos pontos de coleta de água, comparativamente com outros pontos do lago Guaíba, foi realizada uma análise de alguns parâmetros usualmente utilizados para avaliação da qualidade de água em diversos locais do lago, com uma embarcação dotada de instalações para permanência contínua e prolongada de pesquisadores.

Para avaliação da qualidade da água do Guaíba, foram coletadas 28 amostras de água em profundidade e superfície, nos dias 18 e 19 de janeiro de 2017. Estes pontos compreendem várias partes do lago (Figura 3), localizados nas zonas Norte (N), Central (C) e Sul (S) e margens laterais Leste (L) e Oeste (O) do lago, convencionando-se classifica-las em seis zonas (N/L, N/O, C/L, C/O, S/L e S/O). Os pontos para amostragem foram geo-localizadas e mapeadas (GPS TrackMaker®v13).

A água foi amostrada com uma garrafa de Van Dorn horizontal (2L) de PVC, e armazenada em frascos de vidro esterilizados e mantidas sob refrigeração com gelo até serem carregadas para o laboratório. Nestes dias, o Guaíba tinha  $\pm 0,51$  m de nível de água (sendo 0,47 m a média histórica de janeiro) e  $\pm 25,1$  °C de temperatura média do ar (CEIC, 2017). A turbidez foi medida com um turbidímetro portátil (Akso® TU430). O potencial de oxidação-redução foi medido com um aparelho portátil (Akso® AK60). A condutividade elétrica (CE), o pH, o oxigênio dissolvido (OD) e a temperatura foram analisados com um medidor portátil multiparâmetro (Akso® AK88). Os coliformes termotolerantes foram analisados pelo Laboratório NSF Bioensaios, pela técnica descrita no Standard Methods (APHA/AWWA/WEF, 2012).

### **3.5 Análise estatística**

Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey com um

intervalo de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ). Todos os gráficos e análises estatísticas foram desenvolvidos no software Statistica® v13. As análises de regressão foram obtidas pelo ajuste dos resultados a uma equação linear do programa Sigma Plot.

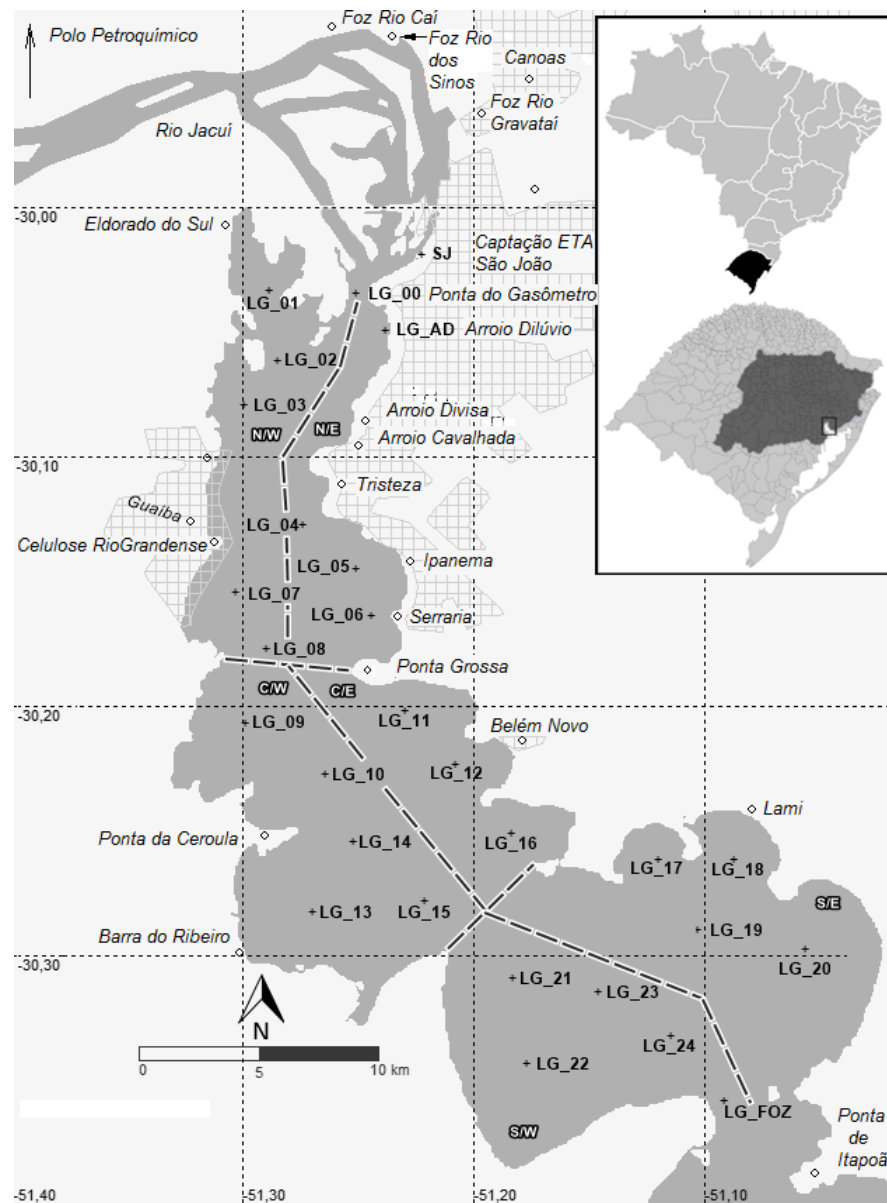


FIGURA 3 – Pontos de amostragem no Guaíba.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização do lodo das Estações de Tratamento de Água

A análise química dos macronutrientes presentes nos dois lodos analisados mostrou um perfil diferenciado apenas na quantidade de carbono orgânico presente. Este valor foi maior na ETA São João, comparado a ETA de Belém novo (Tabela 5). Em relação aos demais elementos não houve diferença significativa entre os valores observados, demonstrando que o local de captação da água não afeta pronunciadamente a concentração dos macronutrientes.

As diferenças na concentração de carbono orgânico entre as ETA estudadas pode estar relacionada ao local de captação da água e não à diluição. A captação da água da ETA São João é próxima ao centro da cidade, com maior densidade populacional e industrial, recebendo uma carga orgânica maior, quando comparada a ETA Belém Novo. O efeito da diluição pelo maior volume de água próximo a área de captação da ETA Belém Novo não explica a menor concentração de carbono orgânico pois este efeito também deveria ser observado para os demais macroelementos.

O lodo das ETAs São João e Belém Novo apresentaram valores similares aos de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre presentes em um lodo de ETA avaliado por Dandolini (2014). Resultados semelhantes para o fósforo e enxofre também foram observados por Padilha (2007). A concentração de sódio encontrada é semelhante às verificadas nas ETAs de Rio Grande e Alto Cotia do Estado de São Paulo por Tsutiya (2001).

O nitrogênio total dos dois lodos analisados foi semelhante, observando-se entretanto, que na ETA São João este elemento representou 11% do carbono orgânico, comparado aos 6% na ETA Belém Novo. Em



relação ao solo, as concentrações de carbono orgânico foram 6-8 vezes maiores do que a média dos solos gaúchos. Porém, os valores observados na ETA São João não chegaram a equiparar-se com as concentrações médias encontradas em Organossolos.

Os demais elementos apresentaram valores diferenciados em relação a outros trabalhos, o que é esperado em função da alteração das características do lodo de estação de tratamento de água proporcionada por fatores como tipo de coagulante e auxiliares utilizados e da qualidade da água bruta (REALI, 1999). A variação destas características e a alteração na composição da água tratada também pode ser afetada pela tecnologia usada no tratamento de água (SARON; LEITE, 2001).

Tabela 5 – Análise química dos macronutrientes presentes nos lodos residuais das Estações de Tratamento de Água São João e Belém novo, Porto Alegre, RS.

<b>Indicadores</b>	<b>São João</b>	<b>Belém Novo</b>
	..... mg.kg <sup>-1</sup> .....	
Carbono orgânico	83000	40000
Nitrogênio (TKN)	4900	4200
Potássio	3100	3700
Magnésio	3100	3400
Enxofre	2000	1600
Fósforo	1800	1600
Cálcio	1400	1200
Sódio	609	596

Os micronutrientes presentes na composição dos dois lodos de ETA também foram avaliados (Tabela 6). Entre os lodos avaliados, observa-se uma tendência do lodo da ETA Belém Velho apresentar maiores concentrações dos elementos manganês, bário e zinco. Verifica-se que certos elementos considerados tóxicos a plantas e animais estão presentes em concentrações altas, tais como o bário, o zinco e o vanádio. Também foram encontrados cobre, cromo, níquel e mercúrio para ambas as estações de tratamento. O chumbo foi encontrado somente no lodo da ETA Belém Novo, o que não seria

esperado pois a maior concentração deste elemento está relacionada a áreas mais industriais, fato esse que seria à montante da ETA São João.

Entre os elementos que apareceram na composição do lodo, é importante ressaltar que alguns como zinco, manganês, cobre e ferro são fundamentais para o desenvolvimento de plantas, como co-fatores de enzimas e de outras funções fisiológicas. Outros elementos como cromo e chumbo não tem função biológica definida e podem se tornar tóxicos em elevadas concentrações (PANDA; CHOUDHURY, 2005). Como todo micronutriente, o cobre e o zinco, quando em concentrações acima de  $1000 \text{ mg.kg}^{-1}$  também podem ser tóxicos às plantas. A presença de matéria ou de compostos orgânicos em determinados pHs podem afetar a disponibilidade destes elementos e em alguns casos na toxidez (MATIAZZO-PREZOTTO, 1994). Em alguns casos, o transporte lento do cobre para a planta pode restringir o crescimento de raízes, onde acumula-se em altas concentrações e não se transloca para a parte aérea das plantas (UNDERWOOD, 1978).

Tabela 6 – Análise química dos micronutrientes e outros elementos presentes nos lodos residuais das Estações de Tratamento de Água São João e Belém novo, Porto Alegre, RS.

<b>Indicadores</b>	<b>São João</b>	<b>Belém Novo</b>
	..... $\text{mg.kg}^{-1}$ .....	
Ferro	33000	35000
Manganês	368	795
Bário	169	235
Zinco	124	134
Vanádio	117	113
Cobre	70	59
Níquel	28	28
Cromo	28	25
Chumbo	--	6
Boro	6	5
Mercúrio	0,08	0,08

O mercúrio, encontrado em ambas as ETAs, é um elemento conhecido pelos seus efeitos negativos ao cérebro e a atividade psicomotora de animais e seres humanos. Apesar de ocorrer naturalmente no solo, ar e água, a grande maioria do mercúrio existente nos lodos sanitários é oriunda

das indústrias de tintas, de vernizes, de materiais fotográficos e de defensivos agrícolas, entre outras fontes (PAGANINI; SOUZA; BOCCHIGLIERI, 2004). A grande afinidade do mercúrio com compostos orgânicos pode diminuir a sua lixiviação mas em alguns casos aumenta a toxicidade com a metilação deste elemento (PAGANINI; SOUZA; BOCCHIGLIERI, 2004).

Em relação ao chumbo, apesar dele possuir toxicidade mais aguda aos animais, em elevadas concentrações pode ser tóxico (COSTA, 2005).

As concentrações mais elevadas de manganês e ferro na composição dos lodos das ETAs estudadas podem ser explicados pela formação de hidróxidos de manganês  $[Mn(OH)_2]$  e de ferro  $[Fe(OH)_2]$  em pHs mais próximos da neutralidade, como os observados na água bruta ETAs avaliadas. Nesta condição, a baixa solubilidade em água pode favorecer a precipitação destes elementos e, conseqüentemente, o processo de floculação e agregação do lodo (HARRIS, 2005).

Os lodos das ETAs analisados neste trabalho enquadraram-se, do ponto de vista ambiental, como resíduo Classe II-A – não-inerte, conforme a norma NBR 10004 (ABNT, 2004), necessitando de cuidados especiais para sua disposição final. A classificação do resíduo como não-inerte acontece quando, o mesmo, sendo submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, em temperatura ambiente, não tiver nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água (NBR 10004/ABNT, 2004). Essa mesma classificação foi encontrada por Guerra (2005), Padilha (2007), Margem (2008), Souza (2010), e Dandolini (2014).

A análise do perfil químico dos lodos para 223 princípios ativos de agrotóxicos (Apêndice 1) demonstrou que os compostos analisados apresentaram resultados abaixo do limite de detecção do instrumento (HPLC). O procedimento amostral e outras situações como a biodegradação prévia ou adsorção aos coloides do lodo podem também ter influenciado a não detecção destes compostos. Os resultados obtidos nas condições de trabalho e do instrumento de detecção revelam que não existe contaminação de agrotóxicos no lodo, no período que corresponde à coleta. Resultados semelhantes também foram encontrados por Moracci (2008) ao analisar a presença dos compostos atrazina, simazina, azoxistrobina, propoxur e carbofurano em lodo

de estação de tratamento de água do município de Registro, no estado de São Paulo.

O tratamento de água realizado nas ETAs, que compreende a etapa de inter-cloração, também pode influenciar na não detecção dos compostos, uma vez que esta etapa oxida boa parte dos compostos orgânicos presentes, com conseqüente degradação ou transformação dos compostos de interesse (MORACCI 2008). Ormad et al. (2008), avaliando a efetividade do tratamento de água na remoção de agrotóxicos, demonstraram que o tratamento utilizando somente cloro foi eficiente para alterar a composição de 40% dos agrotóxicos avaliados, com variações nas porcentagens de remoção entre 70 e 100%.

Em relação aos coliformes fecais, o lodo da ETA São João apresentou um número mais provável (NMP) de 13000 por grama, enquanto que o lodo da ETA Belém Novo apresentou 1700 NMP.g<sup>-1</sup>. Estes valores podem estar relacionados a carga orgânica mais elevada na água bruta da ETA São João, como conseqüência da maior densidade populacional próxima ao local de captação da água desta ETA. Estes números de coliformes fecais verificados nos lodos das ETAs de Porto Alegre corroboram com a contaminação da água coletada, na qual ainda recebe descargas de esgoto cloacal, bem como possui outras fontes de poluição.

A morfologia das partículas de lodo foi analisada pela microscopia ótica e pela eletrônica de varredura (MEV). Em relação à microscopia ótica, verificou-se que a morfologia das partículas dos lodos das duas ETAs é muito semelhante, tanto em coloração como em estrutura (Figura 4), mesmo que os locais de captação se distanciam em média 30 km, e que na hora da coleta os lodos possuíam colorações diferenciadas. Os flocos se apresentam de forma irregular, alguns muito pequenos, outros maiores, indicando que os flocos maiores são compostos pela compactação de flocos menores. A estrutura apresentada pela maioria dos flocos avaliados é um indício importante de condições de sedimentabilidade (MENDONÇA, 2002).

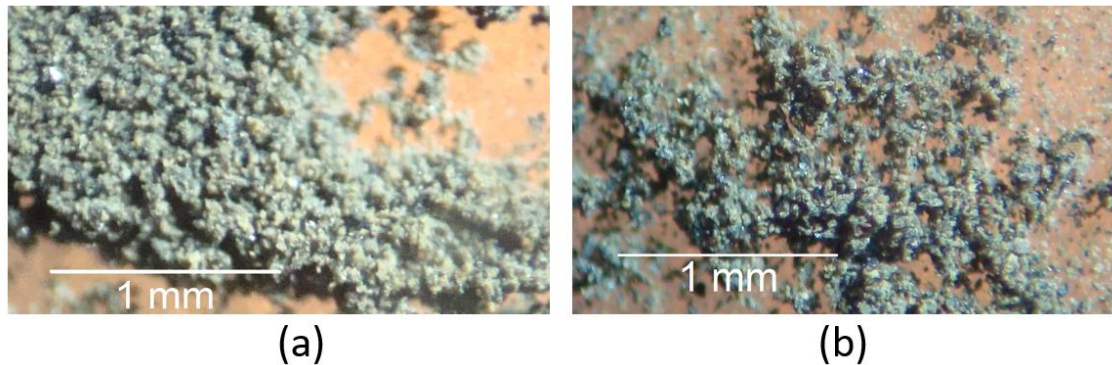


FIGURA 4 – Micrografias do lodo seco das ETAs Belém Novo (a) e São João (b), obtidas com iluminação simultaneamente incidente e transmitida.

A análise das partículas pela microscopia eletrônica de varredura mostrou que os melhores resultados, em termos de sensibilidade e qualidade de imagem, foram obtidos a partir da metalização com ouro, o que propiciou ainda, a detecção do carbono nas amostras. Por outro lado, a metalização com carbono foi essencial para detectar melhor elementos por EDS (energy dispersive x-ray spectroscopy). A Figura 5 apresenta as micrografias obtidas por MEV do lodo da ETA São João, e a Figura 6 corresponde ao lodo da ETA Belém Novo.

Para análise morfológica, o formato dos grãos tem grande relevância no comportamento mecânico, visto que pode determinar como eles encaixam e entrosam entre si (PINTO, 2000 apud GEYER, 2001). Ademais, indica também como eles deslizam entre si quando expostos a forças externas. Nas micrografias apresentadas pelas Figuras 5 e 6, observa-se de maneira geral o aspecto das partículas que compõem o lodo, as quais apresentam baixa esfericidade e médio arredondamento, ou seja, as dimensões das partículas parecem ser diferentes entre si. De maneira mais suscetível a fragmentação, as partículas mostram ser mais angulares do que arredondadas (PINTO, 2000, apud GEYER, 2001).

Pelas escalas fornecidas, é possível identificar a ordem de grandeza da granulometria das partículas. Visualizam-se grãos com cerca de 1  $\mu\text{m}$  e outros de 100-200  $\mu\text{m}$ . Os grãos menores estão na fração argila, enquanto que

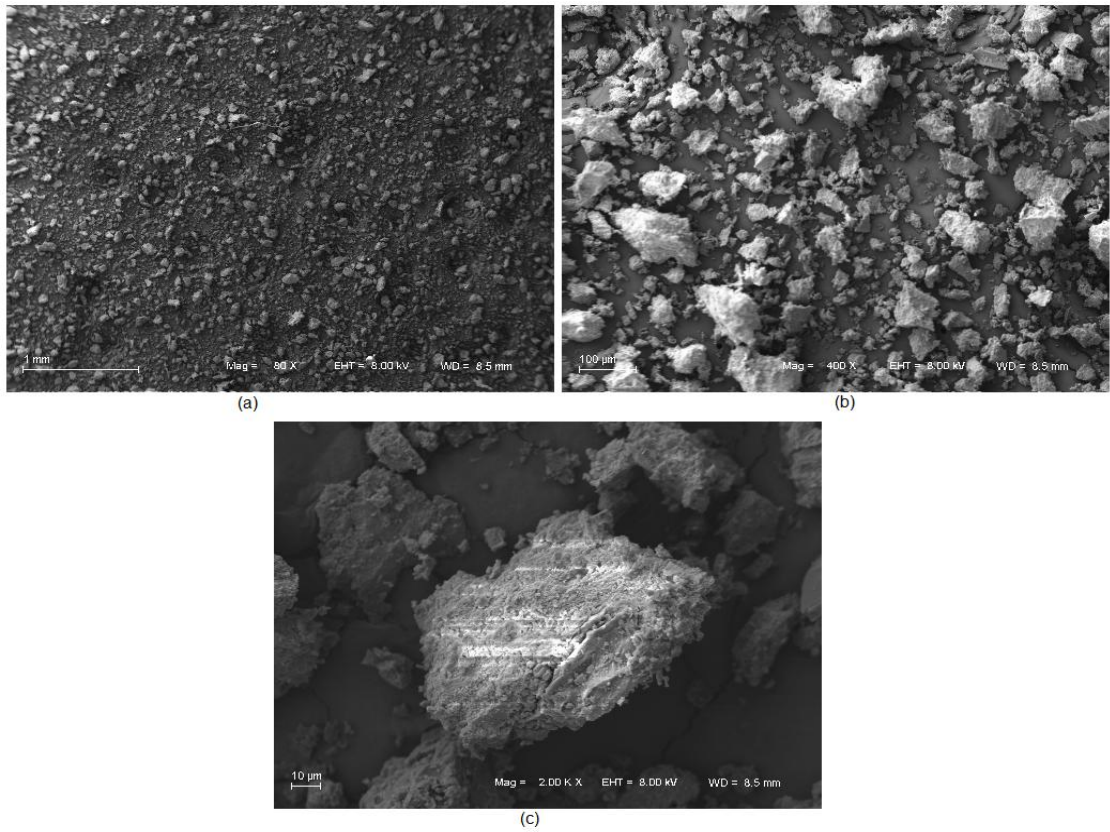


FIGURA 5 – Micrografias de microscopia eletrônica de varredura do lodo da ETA de São João, com magnificação de 80 (a), 400 (b) e 2.000 vezes (c).

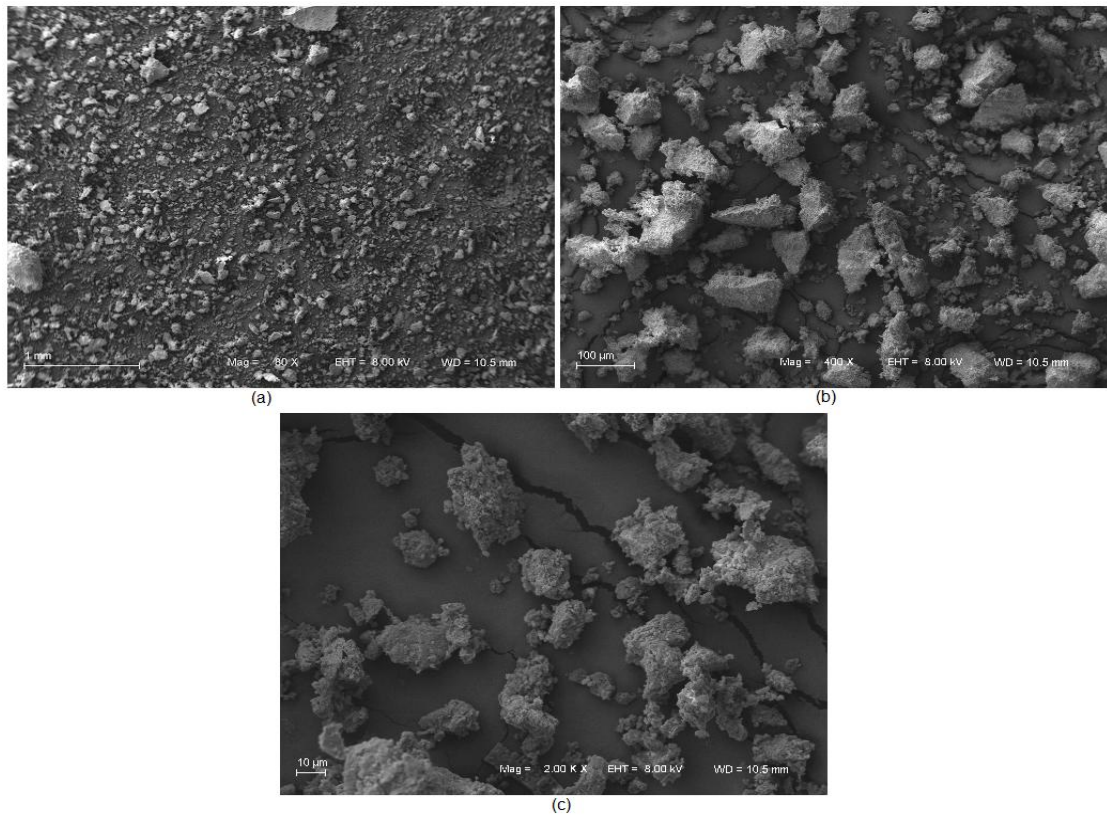


FIGURA 6 – Micrografias de microscopia eletrônica de varredura do lodo da ETA de Belém Novo, com magnificação de 80 (a), 400 (b) e 2.000 vezes (c).

Os maiores estão na de areia. É possível observar que grãos maiores são formados por aglomerados de grãos menores.

Por meio da microsonda (microanálise) de EDS foi possível fazer um mapeamento dos elementos nas imagens. Os principais elementos encontrados por EDS foram silício, alumínio, ferro, oxigênio e carbono, como mostra a Figura 07, sugerindo a presença de alumino-silicatos e também de matéria orgânica (MARGEM, 2008).

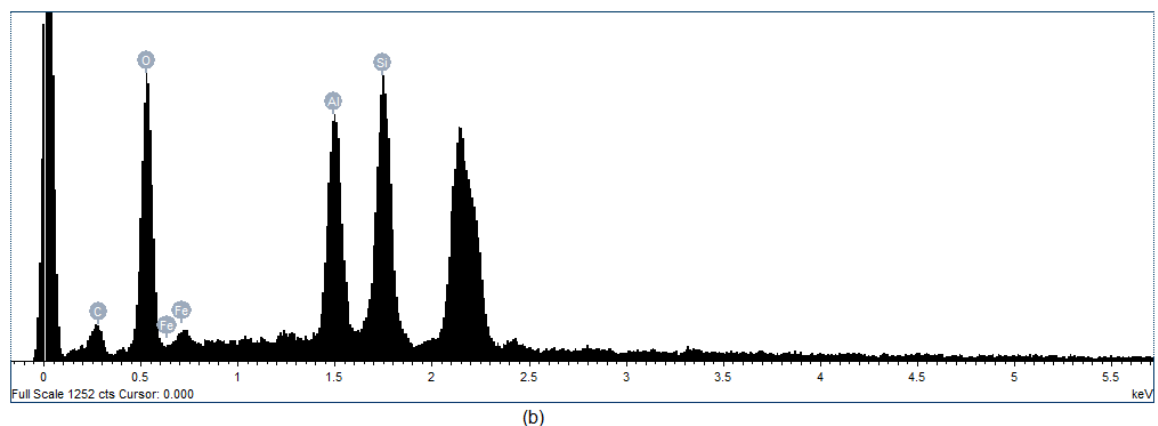
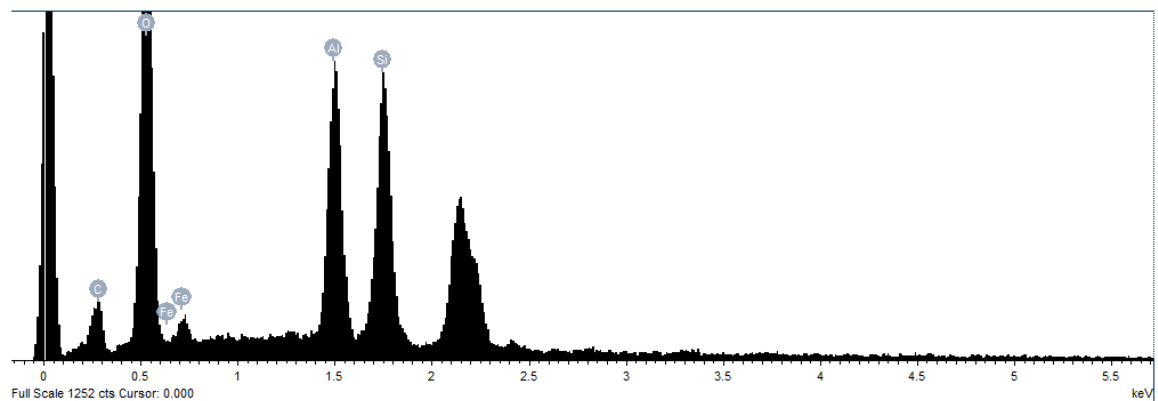


FIGURA 7 – Espectrogramas de EDS (energy dispersive x-ray spectroscopy) obtidos dos lodos de São João (a) e Belém Novo (b).

Os lodos provenientes das duas ETAs também foram analisados quanto a mineralogia (Figura 8). As amostras analisadas são compostas pela fração granulométrica total do lodo de estação de tratamento de água, onde predominam sedimentos de tamanho igual ou menor que a fração silte ( $\varnothing < 0,053$  mm) e fração argila ( $\varnothing < 0,002$  mm). A intensidade dos reflexos observados nos difratogramas apresentou o predomínio do mineral quartzo em todas as amostras. Também foi possível constatar a presença do argilomineral caulinita, em média 0,719 nm para lodo da ETA São João e 0,721 nm para lodo



da ETA Belém Novo, bem como feldspatos potássicos em 0,404 e 0,403 nm respectivamente, além de reflexo relativo à presença de piroxênios em 0,323 nm. De modo geral, as amostras são caracterizadas como quartzosas devido ao predomínio deste, que é um dos minerais altamente resistentes ao intemperismo.

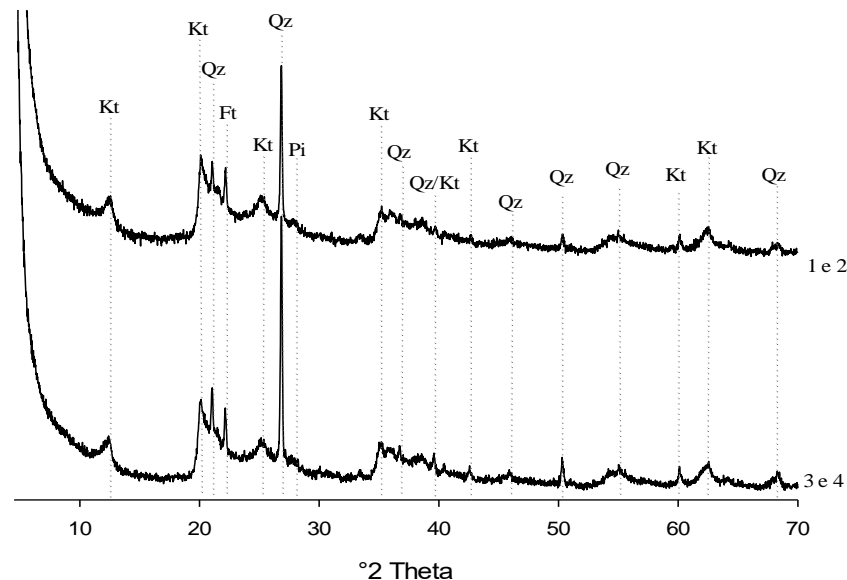


FIGURA 8 – Difratoograma de raios X dos lodos das ETAs de Belém Novo (curva superior) e São João (curva inferior). Kt: caulinita; Qz: quartzo; Ft: feldspato; Pi: piroxênio.

#### 4.2 Uso do lodo de ETA no solo para o cultivo de plantas

Com a realização do experimento em vasos, observou-se significativa dispersão de resultados (Figura 9), em virtude de características heterogênicas das espécies, que são de sementes de variedade e não híbridas. Com isso foi possível verificar que os lodos, nas concentrações testadas, não alteraram significativamente a biomassa seca (raízes e parte aérea) das plantas. Esse mesmo resultado foi encontrado por Padilha (2007) para o crescimento de soja sob adição de lodo de ETA e por Bittencourt et al. (2012) com o cultivo de milho em solo também cultivado com lodo de ETA.

Desta forma, a produção de biomassa foi bastante variável, com plantas de diversos tamanhos, gerando uma produção de matéria seca sem diferença significativa entre os tratamentos.



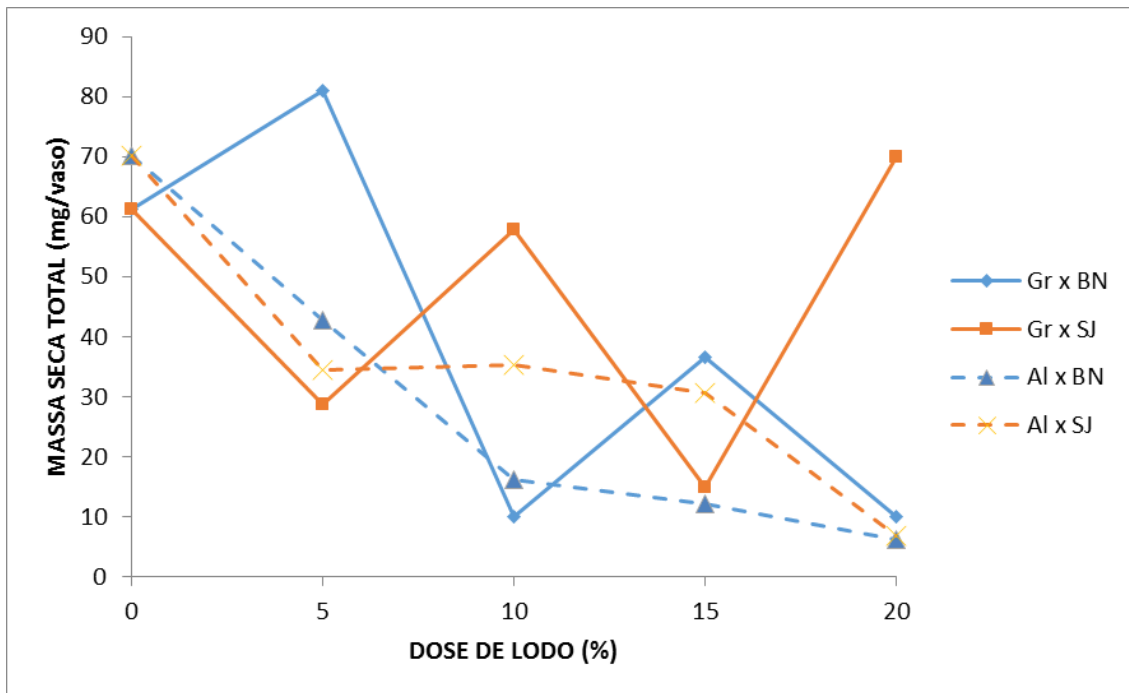


FIGURA 9 - Produção de massa seca total por vaso de grama e de aliso sob diferentes doses de lodo de ETA. GR/BN = Cultivar Grama/Lodo Belém Novo; GR/SJ = Cultivar Grama/Lodo São João; Al/BN = Cultivar Alyssum/Lodo Belém Novo; Al/SJ = Cultivar Alyssum/Lodo São João.

Esta afirmação é evidenciada pelas diferentes correlações obtidas entre as doses e o acúmulo de massa seca, que foram de  $r = 0,73$ ;  $p \geq 0,1540$  para grama e  $r = 0,91$ ;  $p \geq 0,0312$  para aliso, ambas com lodo de Belém Novo. Do mesmo modo que para o lodo de São João, onde a grama obteve correlação de  $r = 0,025$ ;  $p \geq 0,92$  e  $r = 0,9398$ ;  $p \geq 0,0018$  para aliso.

Assim, é possível observar que *Cynodon dactylon* (grama) parece ser mais sensível à adição de lodo, mostrando maior variação na massa seca.

Portanto, as espécies escolhidas podem ser mais sensíveis à exposição de lodo, bem como pelo balanço de nutrientes no solo, podendo ter acontecido uma interação negativa entre eles (IPNI, 1996).

### 4.3 Avaliação da qualidade da água do Guaíba

A análise da qualidade da água do Guaíba foi avaliada em 28 pontos descritos na Figura 2 e os resultados estão apresentados na Tabela 7. Observa-se que os primeiros pontos de análises, onde o Guaíba ainda sobre

influência direta da mescla com o Delta do Jacuí possuem em média maiores valores de turbidez (LG\_01 e LG\_02), indicando a presença de maior quantidade de partículas sólidas em suspensão, como matéria orgânica, por exemplo, corroborando com as quantidades de números mais prováveis (NMP) para coliformes nessa área, que até a metade do lago (parte norte) são maiores.

Tabela 7 – Análises físico-químicas da água de vários pontos do Lago Guaíba.

<b>Ponto</b>	<b>Profun.</b> (m)	<b>T</b> (°C)	<b>OD</b> (mg.L <sup>-1</sup> )	<b>PR</b> (mV)	<b>pH</b>	<b>CE</b> ( $\mu\text{S.c}^{-1}$ )	<b>Turbi.</b> (NTU)	<b>Colifor.</b> (NMP)
LG_00	4,1	27,2	5,3	142	7,5	51,7	43,3	210
LG_01	2,5	27,2	7,2	149	7,6	53,9	60,6	17
LG_02	1,8	28,6	10,4	159	7,6	50,6	58,1	94
LG_03	2,3	28,6	8,5	147	7,5	50,8	41,8	260
LG_04	2,9	28,5	7,2	155	7,0	67,3	38,3	490
LG_05	3,0	28,2	6,6	173	7,3	63,0	35,8	280
LG_06	3,7	28,0	6,6	157	7,3	64,0	35,1	310
LG_07	3,9	28,4	6,0	164	7,8	62,1	43,3	70
LG_08	2,3	28,5	4,5	175	7,3	56,1	40,1	46
LG_09	3,0	28,5	4,6	148	7,7	53,4	41,9	<1,8
LG_10	3,9	28,5	5,6	161	7,3	66,6	59,0	14
LG_11	3,7	28,1	7,9	156	7,4	66,4	36,9	630
LG_12	4,3	27,9	7,7	144	7,4	70,4	39,6	280
LG_13	3,1	28,5	6,3	178	7,7	56,1	28,6	<1,8
LG_14	3,7	28,5	5,9	164	7,7	53,2	59,6	26
LG_15	4,3	28,2	7,2	172	7,7	57,8	56,4	<1,8
LG_16	4,9	27,8	6,9	158	7,8	60,6	51,8	170
LG_17	3,8	27,7	6,9	170	7,6	63,7	63,7	17
LG_18	3,4	27,6	6,3	179	7,7	67,6	49,8	<1,8
LG_19	4,4	27,3	6,4	180	7,8	56,5	58,2	49
LG_20	4,1	27,3	5,7	171	7,7	59,4	58,0	17
LG_21	5,1	28,2	7,0	179	7,6	59,7	63,3	<1,8
LG_22	4,4	28,2	6,3	186	7,8	67,3	39,9	<1,8
LG_23	5,1	28,0	6,0	198	7,6	59,7	52,8	<1,8
LG_24	4,6	28,4	7,0	192	7,8	59,6	47,6	<1,8
LG_F	3,6	27,0	6,1	155	7,8	58,2	38,2	<1,8
LG_A	3,3	28,5	4,2	168	6,9	82,4	33,6	2100
$\Delta$ _SJ	7,9	28,1	5,8	170	7,2	73,6	34,3	4900

Profun. = Profundidade; T = Temperatura; OD = Oxigênio Dissolvido; PR = Potencial de oxi-redução; CE = Condutividade Elétrica; Turbi. = Turbidez; Colifor. = Coliformes

À medida que os pontos estão localizados mais próximos da foz, é possível verificar que ocorre biodegradação de matéria orgânica e depuração da água, através dos parâmetros analisados.

Também se testemunha que os pontos localizados próximos à margem de onde há maior aglomeração populacional, como a cidade de Porto Alegre, possuem menor qualidade da água. Pois, além de receberem poluentes da cidade, recebem também cargas poluidoras dos rios dos Sinos e Gravataí, que desembocam no Guaíba.

Já a margem oposta, apesar de receber os poluentes de Eldorado do Sul, Guaíba e Barra do Ribeiro, além da fábrica Celulose Rio-Grandense, apresentou maior qualidade para análise de coliformes, turbidez, oxigênio dissolvido e potencial de oxi-redução. No entanto, o canal de navegação, com forte corrente, contribui para evitar a contaminação da margem direita com as águas de menor qualidade nos parâmetros analisados da margem esquerda. Nessa margem, o ponto mais comprometido (LG\_04) é próximo à Celulose Rio-Grandense, que em coliformes, por exemplo, ao ser comparado com os números dos outros pontos dessa margem, destoa bastante pelo elevado número.

Passado o bairro de Ipanema em direção à foz, a carga orgânica despejada no Guaíba na margem esquerda diminui e a qualidade da água aumenta (LG\_16, LG\_17, LG\_18, LG\_19, LG\_20), tanto é que a partir da região do Lami, a água já torna-se balneável em muitas épocas do ano (Bendanti et al 2000). Assim como a qualidade da água da margem direita também tende a melhorar, devido a baixa densidade populacional (Bendanti et al 2000).

O Arroio Dilúvio é altamente contaminado e contribui para a diminuição da qualidade da água da margem esquerda. Além dele, também estão fortemente comprometidos os arroios Divisa, Cavalhada e Capivara (Bendanti et al 2000).

Os valores de oxigênio dissolvido (OD), potencial de oxidação-redução (ORP), pH, condutividade elétrica (CE) e turbidez (Tabela 7) apresentaram pouca variação entre os pontos analisados, com destaque para os pontos no Delta do Jacuí e próximo à foz do arroio Dilúvio. Comparando com os valores de referência pela legislação brasileira para as águas superficiais (Classe 2), a Resolução CONAMA nº 357 (CONAMA, 2005), somente oxigênio dissolvido (em LG\_08, LG\_09 e LG\_AD) e coliformes (em LG\_AD e  $\Delta$ \_SJ) superaram os limites estabelecidos para a Classe 2.

O ponto  $\Delta$ \_SJ compreende a captação da ETA São João, assim como o ponto LG\_12 da ETA Belém Novo. É possível averiguar que assim como nas análises de lodo, a quantidade de coliformes também foi maior para ETA São João, e os outros parâmetros analisados mostram valores semelhantes.

Uma prospecção de quantidade de água necessária para diluição dos elementos analisados no lodo foi realizada (Tabela 8), de modo a inferir o seu potencial poluidor ao ser despejado no Guaíba, tomando-se como base quantos litros de água pura deveriam ser adicionados a cada quilo de lodo para que ele se enquadrasse em água de classe I segundo o CONAMA 357.

Tabela 8 – Quantidade em litros de água pura para diluição do lodo a ser descartado no Guaíba, de acordo com CONAMA 357.

<b>Indicadores</b>	<b>São João</b>	<b>Belém Novo</b>
	----- litros de água pura -----	
Ferro	110000	116666
Manganês	3680	7950
Bário	240	335
Zinco	688	744
Vanádio	1170	1130
Cobre	7777	6555
Níquel	1120	1120
Chumbo	--	600
Boro	12	10
Mercúrio	400	400

As diferenças estatísticas foram verificadas nas margens (Leste e Oeste), áreas (Norte, Centro e Sul) e zonas (áreas x margens) do Lago Guaíba (Tabela 9). Os maiores valores ( $p < 0,05$ ) de condutividade elétrica e coliformes foram na margem leste (Porto Alegre) que na Oeste (pequenas cidades). A menor turbidez ( $p < 0,05$ ) ocorreu na zona N/L (área norte; margem leste), e maior na S/L (área sul; margem leste). Uma zona com aparente perturbação ambiental foi detectada na área N/L (área norte; margem leste), próxima ao centro de Porto Alegre. Já uma zona com boas condições foi S/O (área sul; margem oeste), com predominantemente rural e florestal ao redor.

A análise dos componentes principais mostra relações entre os coliformes e a condutividade elétrica com as margens, e entre oxigênio dissolvido e o potencial de oxi-redução com áreas e profundidade. Houve também correlações (Tabela 10) entre as áreas com profundidade ( $r = 0,71$ ;  $p < 0,01$ ) e ORP ( $r = 0,61$ ;  $p < 0,01$ ). Os coliformes foram correlacionados com pH ( $r = -0,71$ ;  $p < 0,01$ ) e CE ( $r = 0,69$ ;  $p < 0,01$ ).

Tabela 9 – Diferenças estatísticas entre as análises realizadas.

Variável	Margens	Áreas	PR	pH	CE
Profundidade	0,11	0,71**	0,47*	0,35	0,27
OD	-0,01	-0,11	-0,27	0,18	-0,32
Potencial de Redução	-0,17	0,61**	-	0,32	0,05
pH	-0,36	0,57**	0,32	-	-0,60**
CE	0,56**	0,03	0,05	-0,60**	-
Turbidez	-0,19	0,44*	0,13	0,49*	-0,37
Coliformes	0,42*	-0,39	-0,19	-0,71**	0,69**

\* Nível de significância a 0,05; \*\* Nível de significância a 0,01. n = 25. PR = Potencial de Oxi-redução; CE = Condutividade Elétrica

Tabela 10 – Correlações entre os locais de coleta e indicadores físico-químicos.

Variação	Margem		Área			Zona					
	L	O	N	C	S	N/O	N/L	C/O	C/L	S/O	S/L
OD	6,6 <sub>A</sub>	6,6 <sub>A</sub>	6,8 <sub>A</sub>	6,5 <sub>A</sub>	6,4 <sub>A</sub>	7,3 <sub>A</sub>	6,1 <sub>A</sub>	5,9 <sub>A</sub>	7,5 <sub>A</sub>	6,6 <sub>A</sub>	6,3 <sub>A</sub>
Potencial de redução	164,4 <sub>A</sub>	169,3 <sub>A</sub>	160,7 <sub>B</sub>	159,9 <sub>B</sub>	181,8 <sub>A</sub>	158,7 <sub>B</sub>	163,1 <sub>B</sub>	164,4 <sub>B</sub>	152,3 <sub>B</sub>	188,8 <sub>A</sub>	174,8 <sub>AB</sub>
pH	7,4 <sub>A</sub>	7,6 <sub>A</sub>	7,4 <sub>AB</sub>	7,6 <sub>B</sub>	7,7 <sub>A</sub>	7,6 <sub>A</sub>	7,1 <sub>B</sub>	7,6 <sub>A</sub>	7,5 <sub>AB</sub>	7,7 <sub>A</sub>	7,7 <sub>A</sub>
CE	65,5 <sub>A</sub>	57,6 <sub>B</sub>	61,1 <sub>A</sub>	60,5 <sub>A</sub>	61,7 <sub>A</sub>	54,7 <sub>B</sub>	69,2 <sub>A</sub>	57,4 <sub>AB</sub>	65,8 <sub>AB</sub>	61,6 <sub>AB</sub>	61,8 <sub>AB</sub>
Turbidez	45,5 <sub>A</sub>	49,5 <sub>A</sub>	43,0 <sub>A</sub>	46,7 <sub>A</sub>	54,2 <sub>A</sub>	48,8 <sub>AB</sub>	35,7 <sub>B</sub>	49,1 <sub>AB</sub>	42,8 <sub>AB</sub>	50,9 <sub>AB</sub>	57,4 <sub>A</sub>
Coliformes	395 <sub>A</sub>	38,1 <sub>B</sub>	407 <sub>A</sub>	140 <sub>A</sub>	10,9 <sub>A</sub>	97,4 <sub>AB</sub>	795 <sub>A</sub>	8,5 <sub>B</sub>	360 <sub>AB</sub>	<LQ	21,0 <sub>AB</sub>

Os valores seguidos pela mesma letra não são estatisticamente diferentes uns dos outros pelo teste de Tukey a 95% de confiança. Os locais LG\_00, LG\_FOZ e ΔSJ não foram considerados na análise por não estarem na área lacustre. Margem = L (Leste) e O (Oeste). Áreas = N (norte), C (central) e S (sul). OD = oxigênio dissolvido.

## 5. CONCLUSÕES

A caracterização do lodo residual de duas estações de tratamento de água do município de Porto Alegre revela a presença de elevadas concentrações de carbono orgânico, sendo maior na ETA São João. As concentrações dos demais elementos analisados (macro e micronutrientes e metais pesados) não são afetadas pela diferença geográfica entre as ETAs (mais de 30 km de distância entre os dois locais de captação, e diferentes qualidades da água). Nas condições avaliadas não ocorre contaminação por agrotóxicos, mas a presença elevada de indicadores de coliformes fecais no lodo indica que a contaminação do manancial elevada. A análise deste lodo indica a classificação como resíduo Classe II-A – Não-inerte NBR 10004 (ABNT, 2004).

O uso diluído de lodo no solo em diferentes concentrações não influenciou significativamente a produção de matéria seca de *Cynodon dactylon* e *Lobularia marítima* (L.) Desv, independente da origem das ETAs.

A água no lago Guaíba apresenta diferentes níveis de qualidade, sendo que a região mais ao norte do lago apresenta uma qualidade inferior à região sul, que se aproxima da foz. A região próxima ao centro de Porto Alegre é onde a qualidade da água é menor, com destaque para a presença de coliformes fecais em grande quantidade. Entre as fontes de poluição pontual destaca-se a contribuição do Arroio Dilúvio.

## 6. REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. 02 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2004. 77 p.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. 02 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2004. 25 p.

ABOY, N. (1999). **Secagem natural e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Porto Alegre, 97 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade federal do Rio Grande do Sul.

ACHON, C. L; BARROSO, M. M; CORDEIRO, J. S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 18, n. 2, p.115-122, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522013000200003>.

ANDREOLI, C. V. et al (Org.). **Resíduos sólidos do saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final**. Curitiba: Abes, 2001. 273 p. Projeto PROSAB.

APHA, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19th ed. Washington, APHA/WEF/AWWA, 1995. 1400p.

APHA/AWWA/WEF, 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd ed. American Public Health Association (APHA); American Water Works Association (AWWA); and Water Environment Federation (WEF).

AWWA Research T & P Committee on Sludge Disposal. An Assessment of Cropland Application of Water Treatment Residuals. **Journal American Water Works Association**, [s. L.], 1995.

AWWA Research T & P Committee on Sludge Disposal. Waste Disposal – Water Treatment Plants: joint discussion. **Journal American Water Works Association**, [s. L.], v. 58, n. 09, p.1102-1116, out. 1966.

AWWA Research T & P Committee on Sludge Disposal. Water Treatmentplant Sludges - an update of the state of art. **Journal American Water Works Association**, [s. L.], v. 10, n. 70, p.548-554, out. 1978.



BARBOSA, A. B. D. A experiência da CAESB em recuperação de água de lavagem de filtros e desidratação de lodo de ETA. In: **XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 1997 Foz do Iguaçu. Anais: AIDIS, 1997.

BARBOSA, R. M.; POVIMELLI, J.; ROCHA, O.; ESPÍNDOLA, E. L.G. A Toxicidade de Despejos (Lodos) de Estações de Tratamento de Água à *Daphnia similis* (Cladocera, Crustácea). In: **XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA**. Anais. Porto Alegre: AIDIS, 2000.

BARROSO, M. M; CORDEIRO, J. S. Aspectos Legais dos Resíduos de Estação de Tratamento de Água. In: **XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA**, João Pessoa, 2001(b).

BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Problemática dos Metais nos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água. In: **XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA**, João Pessoa, 2001(a).

BEAUSSE, J. Selected drugs in solid matrices: a review of environmental determination, occurrence and properties of principal substances. **Trac Trends In Analytical Chemistry**, [s.l.], v. 23, n. 10-11, p.753-761, nov. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2004.08.005>.

BENDANTI, M. M. et al. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO LAGO GUAÍBA (RIO GRANDE DO SUL, BRASIL) COMO SUPORTE PARA A GESTÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA. In: **XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA**. Anais. Porto Alegre: AIDIS, 2000.

BIDONE, F. R. A.; CASTRO, C. M. B.; ABOY, N. MONITORAMENTO DE PARÂMETROS FÍSICO/QUÍMICOS DE LODOS DE ETAS DURANTE A SUA DESIDRATAÇÃO EM LEITOS DE SECAGEM COM DIFERENTES ESPESSURAS DE LEITO DRENANTE. In: **XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz do Iguaçu, p.1205-1220, 1997.

BISSANI, C. A. et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Biblioteca Setorial da Faculdade de Agronomia da Ufrgs, 2004. 328 p.

BITTENCOURT, S. et al. Aplicação de lodos de estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 17, n. 3, p.315-324, set. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522012000300008>.

BRASIL. **Lei Nº 12.305, de 02 de Agosto de 2010**: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF, Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 28 nov. 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria Nº 2.914, de 12 de Dezembro de 2011:** Procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, Disponível em: <<http://portalarquivos.saude.gov.br/images/pdf/2015/maio/25/Portaria-MS-no-2.914-12-12-2011.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Boas práticas no abastecimento de água:** procedimentos para a minimização de riscos à saúde/Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 252 p. – (Série A. Normas e Manuais Técnicos)

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de Águas. **Guia Nacional De Coleta E Preservação De Amostras:** Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas E Efluentes Líquidos. Brasília: Cetesb, 2011. 326 p

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. **Mananciais.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/aguas-urbanas/mananciais>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

CEIC, Centro Integrado de Comando da Cidade de Porto Alegre. **Dados Históricos das Estações Meteorológicas.** 2017. Disponível em: <[http://www2.portoalegre.rs.gov.br/ceic/default.php?p\\_secao=52](http://www2.portoalegre.rs.gov.br/ceic/default.php?p_secao=52)>. Acesso em: 02 mar. 2017.

CHANEY, R. L; STEWART, B. A. **Heavy Metal Accumulation.** Rodale, Emmaus, USA, 1977.

COLLISCHONN, W; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais.** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - Abrh, 2013. 336 p.

CONAMA. **Resolução nº N°357, de 17 de março de 2005:** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Brasília, DF, 17 mar. 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 16 fev. 2017

CONAMA. **Resolução nº N°375, de 29 de agosto de 2006:** Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Brasília, DF, 30 ago. 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506>>. Acesso em: 16 fev. 2017.

COSTA, Cláudia das Neves. **BIODISPONIBILIDADE DE METAIS PESADOS EM SOLOS DO RIO GRANDE DO SUL.** 2005. 126 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência do Solo, Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

DANDOLINI, I. **Reciclagem do lodo de estação de tratamento de água: Produção de coagulante por lixiviação ácida.** 2014. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

GEYER, A. L. B. **CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA DISPOSIÇÃO FINAL E APROVEITAMENTO DA CINZA DE LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS COMO ADIÇÃO AO CONCRETO.** 2001. 238 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

GRANDIN, S. R.; ALEM SOBRINHO, P.; GARCIA JR., A. D. Desidratação de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Água. In: **XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 1993, Natal. Anais. Natal: ABES, 1993. v.2, p. 324-341.

GUERRA, R. C. **CARACTERIZAÇÃO E BIODEGRADAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA PARA DESCARTE EM ATERRO SANITÁRIO.** 2005. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências Biológicas, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

HARDER, R. et al. Estimating human toxicity potential of land application of sewage sludge: the effect of modelling choices. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, [s.l.], p.01-13, 19 ago. 2016. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-016-1182-x>.

HARRIS, D. C. **Análise Química Quantitativa.** 05. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2005. 876 p. Tradução de José ALberto Portela Bonapace e Oswaldo Esteves Barcia.

HAYES JUNIOR, W. J.; LAWS JUNIOR, E. R. **Handbook of Pesticide Toxicology: Classes of Pesticides.** Usa: Academic Press, 1991. 1527 p.

HOPPEN, C. et al. Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental. **Cerâmica**, [s.l.], v. 51, n. 318, p.85-95, jun. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132005000200003>.

IBAMA. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis: **Boletins anuais de produção, importação, exportação e vendas de agrotóxicos no Brasil.** 2013. Disponível em: <[http://ibama.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=594&Itemid=546](http://ibama.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=594&Itemid=546)>. Acesso em: 06 set. 2016.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA. **Orientações sobre validação de métodos de ensaios químicos.** Rio de Janeiro. DOQ-CGCRE 008. Revisão 01. Mar. 2003.

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE. MANUAL DO AGRÔNOMO Nº10: **Nutri-Fatos: Informação agrônômica sobre nutrientes para as culturas**. 10 ed. Piracicaba: Potafos, 1996. 24 p.

KAGGWA, R. C. et al. The impact of alum discharges on a natural tropical wetland in Uganda. **Water Research**, [s.l.], v. 35, n. 3, p.795-807, fev. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00301-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00301-8).

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. **MICRONUTRIENTES NA FISIOLÓGIA DE PLANTAS: MICRONUTRIENTES NA FISIOLÓGIA DE PLANTAS: MICRONUTRIENTES NA FISIOLÓGIA DE PLANTAS: FUNÇÕES, ABSORÇÃO E MOBILIDADE**. Encarte do Informações Agrônômicas, Piracicaba, v. 118, n. 1, p.01-24, jun. 2007.

LECT. Laboratório de Ensino de Ciências e Tecnologia. **Coliformes totais**. Disponível em: <<http://darwin.futuro.usp.br/>>. Acesso em: 18 fev. 2017.

LEITE, G. G.; MACHADO, F. O. C. **CAPIM "COAST-CROSS" (Cynodon dactylon) (L.) Pers**. Planaltina - DF: Embrapa, 1999.

LIMA, V.; AMORIM, M. C. C. T. **A importância das áreas verdes para a qualidade ambiental das cidades**. Revista Formação, n.13, p. 139 -165. 2006.

MAPA, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Mapeamento e Quantificação da Cadeia de Flores e Plantas Ornamentais do Brasil**. São Paulo: [s. e.], 2015. 132 p.

MARGEM, J. I. **CARACTERIZAÇÃO E INCORPORAÇÃO DE LODO DE DECANTAÇÃO DE ESTACÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (E.T.A.) EM CERÂMICA VERMELHA**. 2008. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais, Laboratório de Materiais Avançados, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2008.

MARQUES, M. N. et al. Pesticide Monitoring in Ribeira Valley, Southeastern Brazilian. In: **XI World Water Congress – Water Resources Management**, 2003, Madrid. Anais do XI World Water Congress, 2003.

MATIAZZO-PREZOTTO, M.E. **Comportamento de cobre, cádmio, cromo, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH**. Piracicaba; Tese (Livre Docência) – Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 1994.

MCBRIDE, M.B. **Growing food crops on sludge-amended soils: problems with the U.S.** Environmental Protection Agency method of estimating toxic metal transfer. *Environ Toxicol Chem*, v.17, p.2274-81,1998.

MENDONÇA, L. C. **MICROBIOLOGIA E CINÉTICA DE SISTEMAS DE LODOS ATIVADOS COMO PÓS TRATAMENTO DE EFLUENTE DE REATOR ANAERÓBIO DE LEITO EXPANDIDO**. 2002. 240 f. Tese

(Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MENEZES, F. Z.; BREMBATTI, K; STORCK, G. **Uma árvore por habitante, a recomendação mínima da OMS para as cidades**. 2016. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/futuro-das-cidades/uma-arvore-por-habitante-a-recomendacao-minima-da-oms-para-as-cidades-622ch9afm4rimh3ol1w9j8ikn>>. Acesso em: 27 fev. 2017.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: Um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 3, p.33-38, out. 2002. Bimestral.

MILLER, G. Tyler; SPOOLMAN, Scott E. **Ciência Ambiental**. 14. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015. 464 p. Tradução: Noveritis do Brasil.

MIRANDA, A. C. de et al. Neoliberalismo, uso de agrotóxicos e a crise da soberania alimentar no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s.l.], v. 12, n. 1, p.7-14, mar. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-81232007000100002>.

MORACCI, L. F. S. **RESÍDUOS DE AGROTÓXICOS EM LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA: VALIDAÇÃO DE METODOLOGIA ANALÍTICA UTILIZANDO CROMATOGRAFIA LÍQUIDA ACOPLADA À ESPECTROMETRIA DE MASSAS EM TANDEM (LC-MS/MS)**. 2008. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Autarquia Associada À Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MOREIRA, L. A.; BARRETO, A. C.; ALMEIDA, R. G. R. CRESCIMENTO DA GRAMA BERMUDA (CYNODON DACTYLON) SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO. In: **III Seminário de Inovação Científica e Tecnológica**, Uberaba, v. 01, n. 3, p.01-05, out. 2010.

MOREIRA, R. C. A. et al. Estudo geoquímico da disposição de lodo de estação de tratamento de água em área degradada. **Química Nova**, [s.l.], v. 32, n. 8, p.2085-2093, 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422009000800019>.

MOTTA, A.C.V.; HOPPEN, C.; ANDREOLI, C.V.; TAMANINI, C.R.; FERNANDES, C.V.S.; PEGORINI, E.S.; SOCCOL, V.T. (2005) Parecer técnico. Disposição final de lodos de estação de tratamento de água. Curitiba. UFPR, 43 p.

NORONHA, L. C. et al (Org.). **Baía de todas as águas: Preservação e gerenciamento ambiental na Bacia Hidrográfica do Guaíba**. Porto Alegre: Secretaria Executiva do Pró-guaíba, 1998. 112 p.

OECD, ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **208**: Terrestrial Plants, Growth Test. [s. L.]: Oecd Guideline For Testing Of Chemicals, 1984. 06 p.

OLIVEIRA, E. M. S.; MACHADO, S. Q.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha. **Cerâmica**, [s.l.], v. 50, n. 316, p.01-07, dez. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132004000400007>.

ORMAD, M.p. et al. Pesticides removal in the process of drinking water production. **Chemosphere**, [s.l.], v. 71, n. 1, p.97-106, mar. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.10.006>.

PADILHA, J. C. **APLICAÇÃO DE LODOS DE TRATAMENTOS DE ÁGUA E ESGOTO EM LATOSSOLOS CULTIVADOS COM MILHO E SOJA**. 2007. 346 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

PAGANINI, W. S.; SOUZA, A.; BOCCHIGLIERI, M. M. Avaliação do comportamento de metais pesados no tratamento de esgotos por disposição no solo. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 9, n. 3, p.225-239, set. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522004000300009>.

PANDA, S.k.; CHOUDHURY, S.. Chromium stress in plants. **Brazilian Journal Of Plant Physiology**, [s.l.], v. 17, n. 1, p.95-102, mar. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1677-04202005000100008>.

PATRO, R. **Áliso – Lobularia maritima**. 2016. Disponível em: <<http://www.jardineiro.net/plantas/aliso-lobularia-maritima.html>>. Acesso em: 28 fev. 2017.

PELCZAR JUNIOR, M. J. et al. **MICROBIOLOGIA**: Conceitos e Aplicações. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1996. Revisão Técnica Celso Vataru Nakamura.

PORTO ALEGRE. DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO. 2015. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/>>. Acesso em: 03 jan. 2017

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE). **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Porto Alegre: Departamento Municipal de Água e Esgoto, 2013. 174 p. CD-ROM.

PRÓ-GUAÍBA (Porto Alegre). **Pró-Guaíba: CUIDANDO HOJE O AMBIENTE DE AMANHÃ**. 2015. Disponível em: <[http://www.proguaiba.rs.gov.br/prog\\_arrumando.htm](http://www.proguaiba.rs.gov.br/prog_arrumando.htm)>. Acesso em: 15 jan. 2017.

REALI, M. A. P. et al (Org.). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Rio de Janeiro: Abes, 1999. 233 p. Projeto PROSAB.

REIS, L. V. S. **Cobertura florestal e custo do tratamento de águas em bacias hidrográficas de abastecimento público**: caso do manancial do município de Piracicaba. 2004. 239 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

RICHTER, A. C. **Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. São Paulo: Edgard Blucher, 2001.

RIO GRANDE DO SUL. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER - RS. **QUALIDADE AMBIENTAL REGIÃO HIDROGRÁFICA DO GUAÍBA**. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/guaiba.asp>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

SARON, A; LEITE, V. M. B. (2001) Quantificação de lodo em estação de tratamento de água. In: **XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Anais. João Pessoa (PB): ABES.

SEBRAE, SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **FLORES E PLANTAS ORNAMENTAIS DO BRASIL: SÉRIE ESTUDOS MERCADOLÓGICOS**. [s. L.]: Icomunicação, 2015. 44 p. (01).

SELBACH, P.A. et al. **Descarte e biodegradação de lodos de curtume no solo**. *Revista do Couro*, Estância Velha, v. 17, n. 79, p. 51-62, 1991.

SILVA, A. P.; BIDONE, F. R. A.; MARQUES, D. M. L. M. Avaliação da Lixiviação de Alumínio e da Produção de Ácidos Graxos Voláteis em Reatores Anaeróbios Utilizados para Estudar a Disposição Final de Lodos de ETAs em Aterros Sanitários. In: **XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA**, 2000, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: AIDIS, 2000.

SILVA J. A. P.; ISAAC, R. L. Adensamento por Gravidade de Lodo de ETA Gerado em Decantador Convencional e Decantador Laminar. In: **XXVIII CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL**, 2002, Cancún – México. Anais. Cancún: AIDIS, 2002.

SOUZA, F. R. **Compósito de Lodo de Estação de Tratamento de Água e Serragem de Madeira para Uso como Agregado Graúdo em Concreto**. 2010. 211 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação Interunidades Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M. **Química Ambiental**. 02. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. 334 p. Revisão técnica de Reinaldo C. Bazito e Renato S. Freire.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 02. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p

TAKADA, C. R. S. et al. APROVEITAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE LODOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA NO MUNICÍPIO DE PALMAS – TO. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, Espírito Santo do Pinhal, v. 10, n. 02, p.154-165, abr. 2013.

TAMANINI, C. R. et al. Land reclamation recovery with the sewage sludge use. **Brazilian Archives Of Biology And Technology**, [s.l.], v. 51, n. 4, p.643-655, ago. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-89132008000400023>.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Ufrgs Departamento de Solos, 1995. 170 p.

TNC - THE NATURE CONSERVANCY (Pará). **Manual de Restauração Florestal: Um Instrumento de Apoio à Adequação Ambiental de Propriedades Rurais do Pará**. Belém: The Nature Conservancy – Tnc, 2013. 128 p. Esta publicação é uma contribuição da TNC ao Projeto “Paragominas Município Verde”. Disponível em: <<http://www.nature.org/media/brasil/manual-de-restauracao-florestal.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2016.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiology: An Introduction**. 5. ed. [s. L.]: Benjamin Cummings, 1995. 801 p.

TSUTIYA, M. T.; HIRATA, A. Y.. APROVEITAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE LODOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO ESTADO DE SÃO PAULO. In: **XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2001.

UNDERWOOD, E.J. Environmental sources of heavy metals and their toxicity to man and animals. In: **Proceedings of the International Conference on Developments in Land Methods of Wastewater Treatment and Utilisation**; Melbourne. Proceedings. Melbourne: IAWPRC, (paper n.3). 1978.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **The incorporation of water treatment effects on pesticides removal and transformations in food quality protections act (FQPA) drinking water assessments**. OPP - Office of Pesticides Programs. Washington, D.C. 20460, 25 October 2001.

VIEIRA, F. M. Gramíneas tropicais alergênicas: *Cynodon dactylon* e *Paspalum notatum* – uma visão para o trópico brasileiro. **Revista Brasileira de Alergia e Imunopatologia**, São Paulo, v. 35, n. 01, p.40-47, fev. 2012.

WALDEMAR, C. C. **Avaliação do potencial de utilização do lodo das estações de tratamento de esgotos** – Relatório 1. DMAE, PMPA, 1992. CD-ROM

WEBER, J. B.; WILKERSON, G. G.; REINHARDT, C. F. Calculating pesticide sorption coefficients (Kd) using selected soil properties. **Chemosphere**, [s.l.], v.



55, n. 2, p.157-166, abr. 2004. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.10.049>.

## 7. APÊNDICES

### APÊNDICE 1: Princípios ativos de agrotóxicos analisados

3 - hidroxí carbofurano, acefato, acetamipride, acrinatrina, aldicarbe, aldicarbe sulfona, aldicarbe sulfóxido, aletrina, ametrina, asulan, atrazina, azaconazole, azinfós-etílico, azinfós-metílico, azoxistrobina, benalaxil, benfuracarbe, benomil (como carbendazim), bifentrina, bioaletrina 1 e 2, bitertanol, boscalida, buprofezina, carbaril, carbendazin, carbofenotiona, carbofurano, carbosulfano, carboxina, carpropamida, cialofope, cianazina, ciflutrina 1,2,3,4, cimoxanil, cipermetrina 1,2,3,4, ciproconazol, ciprodinil, ciromazina, cletodim, clofentezina, clomazona, clorantraniliprole (rynaxapir), clorfenvinfós, clorfluazurom, clorimurom, cloroprofan, clorpirifós, clorpirifós metílico, clothianidin, coumafós, cresoxim metílico, dazomet, deltametrina, demeton-s-metílico, diazinona, diclofluanida, diclofop metílico, diclorvós, dicofol, dicrotophos, difenoconazol, diflubenzurom, dimetoato, dimetomorfe, diniconazol, dinocape, dinoterb, dissulfotom sulfona, dissulfotom sulfóxido, disulfoton, diuron, dodomorfe, epoxiconazole, esfenvarelato, espinosade, espiroclorfen, espiromesifeno, espiroxamine, etiofencarbe, etiofencarbe sulfona, etion, etofenproxi, etoprofós, etoxisulfuron, etrinfós, famoxadona, fempropimorfe, fenamidona, fenamifós, fenarimol, fenazaquim, fenbuconazole, fenhexamida, fenitrotiona, fenoxaprop-p-etílico, fenpiroximato, fenpropatrina, fention, fentoato, fenvarelato, fipronil, flazasulfurom, fluazifop-p-butílico, fludioxonil, flufenacet, flufenoxurom, fluquinconazole, flusilazol, flutriafol, folpet, foramsulfurom, forato, fosadona, fosfamidona, fosmete, fostiazato, furatiocarbe, hexaconazol, hexazinona, hexitiazoxi, imazalil, imazapique, imazapir, imibenconazol, imidacloprido, indoxacarbe, iprovalicarbe, isofenfós, isoxaflutole, lambda cialotrina, linurom, lufenurom, malaoxom, malation, mepanipirim, mesotriona, metalaxil-m, metamidofós, metconazol, metidation, metiocarb, metiocarb sulfóxido, metiocarbe sulfona, metobromurom, metomil, metoxifenoazida, metribuzin, metsulfurona metílica, mevinfós, miclobutanil, molinato, monocrotofós, monuron, napropamida, nitenpyram, novalurom, nuarimol, o,o-tepp, ometoato, oxadixil, oxamil, oxasulfuron, oxicarboxin, oxifluorfem, paclobutrazol, paration etílico, paration metílico, pencicuum, penconazol, pendimentalina, permetrina, picoxystrobin, piraclostrobina, pirazofós, piridabem, piridafentona, pirifenox, pirimetanil, pirimicarbe, pirimifós etílico, pirimifós metílico, piriproxifem, procloraz, profenofós, promecarbe, prometrina, propamocarb hidrocloreto, propargito, propiconazol, propoxur, protiofós, pymetrozine, pyrethins, quinoxifem, quizalofop-p-etílico, simazina, sulprofós, tebuconazol, tebufempirade, tebufenoazida, terbufós, tetraconazol, tetradifon, tiabendazol, tiacloprido, tiametoxam, tiobencarbe, tiodicarb, tiofanato metílico, tolclofos-methyl, tolifluanida, triadimefom, triadimenol, triazofós, triciclazol, triclofon, trifloxistrobina, triflumizol, triflumurom, triforina, triticonazole e vamidation.

