



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA-UFPB
CENTRO DE TECNOLOGIA-CT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E
AMBIENTAL-PPGEUA-MESTRADO

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E
MICROBIOLÓGICAS DO LODO DAS LAGOAS DA
ETA GRAMAME**

por

SABRINA LIVIA DE MEDEIROS PEREIRA

*Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal da
Paraíba para obtenção do grau de Mestre.*

**João Pessoa – Paraíba
Março - 2011**

SABRINA LIVIA DE MEDEIROS PEREIRA

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E
MICROBIOLÓGICAS DO LODO DAS LAGOAS DA ETA
GRAMAME**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre.

ORIENTADORA: Prof^a. Dr^a. Claudia Coutinho Nóbrega

**João Pessoa – Paraíba
Março - 2011**

P436c Pereira, Sabrina Livia de Medeiros.
Características físicas, químicas e microbiológicas do lodo das lagoas da ETA Gramame / Sabrina Livia de Medeiros Pereira.- João Pessoa, 2011.
70f. : il.
Orientadora: Claudia Coutinho Nóbrega
Dissertação (Mestrado) – UFPB/CT
1. Engenharia Urbana. 2. Engenharia Urbana e Ambiental.
3. Tratamento de água – produtos químicos. 4. Lagoa de lodo – ETA Gramame – análise de resíduos.

UFPB/BC

CDU: 62:711(043)

SABRINA LIVIA DE MEDEIROS PEREIRA

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS
DO LODO DAS LAGOAS DA ETA GRAMAME**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba/Centro de Tecnologia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre.

Aprovado em: ____/ ____/ ____

BANCA EXAMINADORA

Profª Drª Claudia Coutinho Nóbrega - UFPB
Orientadora

Prof. Dr Gilson Barbosa Athayde Júnior - UFPB
Examinador Interno

Prof. Dr Valderi Duarte Leite - UEPB
Examinador Externo

"A verdadeira grandeza de um homem reside na consciência de um propósito honesto na vida, alicerçado numa estimativa justa de sua pessoa e de tudo o mais; num freqüente auto-exame, numa firme obediência às regras por ele tidas como certas, sem perturbar-se com o que os outros possam vir a pensar ou dizer, ou com fazerem elas, ou não, aquilo que ele pensa, diz e faz."

(Marco Aurélio)

*Dedico aos meus pais que sempre
me deram o apoio e as instruções
necessárias para batalhar pelos
meus objetivos.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS, por ter me dado o dom da vida, além da saúde e sabedoria para alcançar os meus objetivos.

A minha orientadora, Claudia Coutinho Nóbrega, por todo estímulo e compreensão a mim dada para a realização e conclusão desse trabalho.

A minha amiga Cibele por sempre ter me dado apoio para concretização desse trabalho.

À CAGEPA – Companhia de Água e Esgoto da Paraíba, por permitir a realização dessa pesquisa.

Aos funcionários da Estação de Tratamento de Água de Gramame, pela ajuda durante as realizações das coletas.

Ao professor Gilson Barbosa Athayde Júnior, pelo material bibliográfico fornecido.

Aos funcionários do laboratório de mecânica dos solos da UFPB.

A todos que fazem parte do Laboratório de Saneamento do Centro de Tecnologia da UFPB, por ter permitido o desenvolvimento das análises físicos e químicas.

Agradeço a minha família por todo carinho e compreensão durante todos os momentos, em especial aos meus pais, José Romualdo e Rosângela Amélia, que sempre foram o meu referencial.

E por fim, agradeço novamente ao meu pai, que tomo como exemplo de vida e de perseverança que sempre me ensinou a nunca deixar nada inacabado, mas sim terminar tudo o que se inicia por mais dificuldades que possa vir a encontrar.

RESUMO

O efeito da disposição inadequada, dos resíduos sólidos, gerados no processo de tratamento de água, no meio ambiente tem-se mostrado ser extremamente danoso, uma vez que os produtos químicos utilizados no referido processo são prejudiciais quando lançados "in natura" em corpos aquáticos, pois pode causar danos ao mesmo. Esta dissertação foi desenvolvida nas lagoas de lodo da Estação de Tratamento de Água - ETA Gramame, localizada no município do Conde, Estado da Paraíba/Brasil e que abastece as cidades de João Pessoa (capital) e Cabedelo. O objetivo dessa pesquisa foi caracterizar o lodo das lagoas de lodo oriundo dos decantadores da ETA Gramame, no intuito de sugerir alternativas de tratamento e disposição final para esses despejos.

As análises foram realizadas entre o período de Outubro de 2009 a Abril de 2010 nas duas lagoas de lodo.

Com resultados obtidos das análises dos resíduos pode-se constatar que do valor médio de sólidos totais encontrados, 78,28% e 68,12% são de sólidos fixos, lagoa 1 e 2, respectivamente. E que do valor médio de sólidos totais encontrados 21,72% (lagoa 1) e 31,88% (lagoa 2) são de sólidos voláteis. Esses resultados indicaram a presença de uma porção de material biodegradável maior na lagoa 2. A partir da análise granulométrica do lodo estudado, pode-se observar que o mesmo apresentou um maior teor de areia grossa. Já dentre os metais pesados encontrados na análise do lodo os maiores índices foram o de alumínio, chumbo e ferro. Sendo os dois últimos acima dos padrões de lançamento exigidos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA, em sua Resolução Nº 357/2005. De acordo com as análises realizadas no lodo pode-se verificar que algumas das alternativas de destino final seriam a recuperação do coagulante (sulfato de alumínio), a utilização no solo, não deixando de destacar a necessidade de avaliação do solo para receber esse tipo de resíduo uma vez que o mesmo possui teores considerados de alumínio e por último o encaminhamento a aterros sanitários.

Palavras-Chaves: lagoa de lodo, ETA e destino final.

ABSTRACT

The effect of inadequate disposal, solid waste generated in the process of treating water, the environment has proved to be extremely harmful, since the chemicals used in that process are harmful when released "in natura" in water bodies. Because it can cause damage. This work was developed in the ponds of sludge from the clarifiers Station Water Treatment - ETA Gramame located in the municipality of Conde, State of Paraíba and Brazil which supplies the cities of João Pessoa (the capital) and Cabedelo. The objective of this research was to characterize the sludge ponds sludge coming from the decanter Gramame ETA in order to suggest alternative treatment and disposal for these effluents.

Analyses were performed between the period October 2009 to April 2010 in two lakes of mud.

With results of residue analysis can be seen that the average value of total solids found, 78.28% and 68.12% are fixed solids, pond 1 and 2, respectively. And what of the average total solids found 21.72% (pond 1) and 31.88% (pond 2) are volatile solids. These results indicated the presence of a larger portion of biodegradable material in the pond 2. From the size analysis of the sludge studied, it can be observed with the highest content of coarse sand grain size. But among the heavy metals found in the analysis of sludge were higher rates of Aluminum, Lead and Iron. The latter two above the discharge standards required by the National Environment Council - CONAMA, in its Resolution No. 357/2005. According to our analysis, the sludge can be seen that some of the alternatives of final destination would be the recovery of the coagulant (aluminum sulfate) to use on the ground, whilst highlighting the need for assessment of soil to receive this type of waste once it has considered levels of aluminum and finally a referral to landfills.

Key-Words: pond sludge, ETA and final destination.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de uma ETA convencional.	8
Figura 2- Ponto de geração de resíduos em ETA convencional.	9
Figura 3 - Ilustração das frações de água constituintes dos lodos de ETAs.....	11
Figura 4 - Disposição final de lodos de ETAs nos Estados Unidos.	27
Figura 5 - Método de disposição do lodo de ETA no Reino Unido.	28
Figura 6 – Unidades atuais da ETA-Gramame.....	32
Figura 7 - Estrutura de controle.	33
Figura 8 - Caixa de chegada e mistura rápida.	34
Figura 9 - Floculador atual da ETA.	35
Figura 10 - Decantador atual da ETA.	35
Figura 11 - Filtros da ETA.	36
Figura 12 - Galeria de Comando.	37
Figura 13 - Casa de Química.	37
Figura 14 - Casa de cloração 38	
Figura 15 - Tanques de Produtos Químicos.	38
Figura 16 - Planta esquemática do sistema de captação e tratamento d' água, utilizada na ETA/Gramame.....	39
Figura 17 - Planta esquemática da ampliação da ETA Gramame.	40
Figura 18 - ETA Gramame e lagoas de lodo.....	41
Figura 19 - Lagos de Lodo ETA Gramame (Planta).....	42
Figura 20 - Lagoa de Lodo (Cortes)	43
Figura 21 – Distribuição dos pontos de coletas nas lagoas de lodo.....	44
Figura 22 - Coleta das amostras de lodo realizada nas lagoas de lodo.	44
Figura 23 - Lagoas de lodo da ETA/Gramame.....	46
Figura 24 - Coleta realizada nas lagoas de lodo da ETA/Gramame.....	47
Figura 25- Amostra de lodo coletado nas lagoas de lodo da ETA/Gramame.	47
Figura 26 - Valores de sólidos totais encontrados nas amostras de lodo.	52
Figura 27 - Percentual de sólidos fixos encontrados nas amostras de lodo.	52
Figura 28 - Percentual de sólidos voláteis encontrados nas amostras de lodo.	53
Figura 29 - Valores de DQO encontrados nas amostras de lodo.....	53
Figura 30 - Valores de DBO ₅ encontrados nas amostras de lodo.....	54

Figura 31 - Relação DQO/DBO ₅	55
Figura 32 - Valores de pH encontrados nas amostras de lodo.	55
Figura 33 - Umidade encontrada nas amostras de lodo.	56
Figura 34 - Valores de fósforo encontrados nas amostras de lodo.	57
Figura 35 - Valores de nitrogênio encontrados nas amostras de lodo.	57
Figura 36 - Valores de COT encontrados nas amostras de lodo.	58
Figura 37 - Valores de alumínio encontrados nas amostras de lodo.	59
Figura 38 - Valores de chumbo encontrados nas amostras de lodo.....	59
Figura 39 - Valores de ferro encontrados nas amostras de lodo.....	60
Figura 40 - Valores de potássio encontrados nas amostras de lodo.....	60
Figura 41 - Valores de coliformes totais encontrados nas amostras de lodo.	61
Figura 42 - Valores de coliformes termotolerantes encontrados nas amostras de lodo.....	61
Figura 43 - Gráfico da análise granulométrica do lodo das lagoas 1e 2.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características usuais do lodo de decantadores de ETAs que utilizam sulfato de alumínio como coagulante.....	12
Tabela 2 - Características Típicas de Lodos de ETA.....	13
Tabela 3 - Características dos resíduos gerados em diferentes ETAs.	13
Tabela 4 - Características dos resíduos de estações de tratamento de água.....	14
Tabela 5 - Características dos resíduos de diferentes ETA's no Brasil.	15
Tabela 6 - Padrão de lançamento de efluente em corpos aquáticos.....	18
Tabela 7 - Parâmetros restritivos de lançamento de efluentes de resíduos de ETAs brasileiras	23
Tabela 8 - Características do tratamento da ETA.....	26
Tabela 9 - Características do tratamento da ETA.....	40
Tabela 10 - Características físicos químicas das amostras de lodo da Lagoa 1.	48
Tabela 11 - Características físicos químicas das amostras de lodo da Lagoa 2.	49
Tabela 12 - Concentração de metais encontrados nas amostras de lodo da Lagoa 1.	49
Tabela 13 - Concentração de metais encontrados nas amostras de lodo da Lagoa 2.	50
Tabela 14 - Parâmetro Microbiológico (Lagoa 1).	50
Tabela 15 - Parâmetro Microbiológico (Lagoa 2).	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVO	4
2.1	Objetivo Geral.....	4
2.2	Objetivos Específicos	4
3	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	5
3.1	Os Processos de Tratamento de Água para o Abastecimento Público.....	5
3.2	Origem dos Lodos Gerados em Estações de Tratamento de Água.....	7
3.3	Características do Lodo de ETA	11
3.4	Resíduos Gerados nos Filtros	16
3.5	Resíduos Gerados nos Decantadores.....	16
3.6	Metais Pesados Presentes no Resíduo de ETA.....	17
3.7	Sistemas Naturais de Redução de Volume de Lodo de ETA – Lagoas de Lodo.....	19
3.8	Legislação Aplicável	20
3.9	Impacto Ambiental dos Resíduos de ETA`s.....	23
3.10	Alternativa para o Tratamento, Disposição Final e Reuso do Lodo Gerado em ETA's	25
3.10.1	Disposição em Aterros Sanitários	28
3.10.2	Aplicações na Indústria da Construção Civil.....	29
3.10.3	Disposição no Solo	30
3.10.4	Recuperação de Coagulante	31
3.10.5	Estação de Tratamento de Água de Gramame	32
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	41
4.1	Descrição das Lagoas de Lodo da Estação de Tratamento de Água de Gramame	41
4.2	Desenvolvimento do Experimento	43
4.2.1	Definição dos Pontos de Amostragem e Métodos Utilizados.....	44
5	ANALISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	48
6	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002), o Brasil produz nas estações de tratamento de água convencionais, não convencionais e por desinfecção simples 41×10^6 m³/dia de água tratada. As ETA's convencionais de ciclo completo são responsáveis pela produção de $30,5 \times 10^6$ m³/dia, ou seja, 74,40 % da água tratada. As ETA's podem ser vistas como mini fábricas de resíduos, com produção na faixa de 1% a 4% do volume total de água tratada (BARROSO, 2009). Correspondendo a uma geração de valor médio de 762.500 m³/dia de resíduos gerados nessas ETA's convencionais.

Esses resíduos são gerados durante o tratamento da água nas ETA's, através dos processos de coagulação, floculação, decantação e filtração. No decorrer dessas atividades, são adicionados produtos químicos conduzindo a formação de resíduos. O lodo que tem origem nos decantadores e nas águas de lavagem dos filtros possui características variadas, dependendo essencialmente das condições apresentadas pela água bruta, dosagens dos produtos químicos utilizados, como também da forma de lavagem dos decantadores (TSUTIYA; HIRATA, 2001).

As ETA's, nos últimos anos, estão se deparando com o problema do tratamento e disposição final dos resíduos sólidos gerados durante o processo de tratamento de água. Apesar de não ser um problema recente, o efeito da disposição inadequada dos resíduos sólidos gerados pelas ETA's no meio ambiente, tem-se mostrado ser extremamente danoso ao mesmo, especialmente nos grandes centros urbanos, uma vez que os lodos gerados nessas estações contêm concentrações elevadas de metais pesados, principalmente de alumínio e ferro (HALL & HALL, 1989; BARBOSA, 2000), que ao serem lançados "in natura" em cursos d'água pode vir a levar toxicidade aos organismos aquáticos. Além desses lodos conterem metais pesados, apresentam também elevadas concentrações de sólidos, demanda química de oxigênio (DQO) e alta turbidez, que podem causar assoreamento de cursos d'água, criação de bancos de lodo, alterações na cor e na composição química, além de alterações biológicas (VICORY & WEAVER, 1984; CORNWELL et al. 1987; SOUZA FILHO, 1998).

Na maioria das ETA's esses resíduos são lançados nos corpos d'água próximos sem tratamento, em alguns casos o próprio manancial que abastece a estação de tratamento. No entanto, o aumento da preocupação e a regulamentação sobre a preservação e recuperação da qualidade do meio ambiente têm restringido e até mesmo proibido o uso deste método de disposição, impondo a procura por outros métodos que não causem danos ao meio ambiente.

Nos Estados Unidos, desde 1972, com a aprovação das emendas ao “National Pollutant Discharge Act”, considera-se o lodo gerado no tratamento de água como resíduo industrial e, assim, sujeito a restrição legais (RICHTER, 2001).

Cordeiro (1993) relata que foi realizado um levantamento junto às agências de saneamento estaduais e municipais do Brasil e, de acordo com o autor supracitado, os resultados obtidos mostraram que: 79% das agências consultadas julgavam o descarte dos resíduos de ETA's uma violação às leis de controle de poluição e, 21% delas acreditavam que não; 93% das agências estaduais não possuíam legislação ou regulamentos que exigissem o tratamento dos lodos de ETA's, antes de sua disposição em corpos d'água e, 86% das agências não tinham encontrado problemas de poluição causados por seus resíduos ou não receberam reclamações a respeito. Os dados mencionados asseguram a pouca experiência, brasileira, sobre os resíduos de ETA's de ciclo completo (coagulação, floculação, sedimentação, filtração) e, demonstram que os rejeitos lançados em cursos d'água é relativamente desconhecido. Estima-se que cerca de 2000 toneladas de resíduos sólido de ETA's são lançados, diariamente, em cursos d'água brasileiros sem nenhum tratamento prévio (REALI, 1999).

Os lodos de ETA's são classificados pela série de normas NBR-10.004 (2004) como resíduos sólidos, não sendo permitido seu lançamento “in natura” em águas superficiais. A Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei 9.433/97 estabelece que, o lançamento de resíduos líquidos, sólidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final em corpos d'água, além de outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água, está sujeita à outorga do Poder Público (BRASIL LEIS, 1997).

De acordo com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, Lei 12.305/2010, o resíduo sólido é um material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólidos ou semi sólidos, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente viáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL LEIS, 2010).

O lançamento dos resíduos gerados em ETA's, em corpos d'água, pode ser considerado crime ambiental, de acordo com a Lei 9.605/98, devido aos efeitos diretos causados ao ambiente aquático do corpo receptor e danos à fauna aquática.

De acordo com Richter (2001), os métodos de disposição final de lodos podem-se incluir lançamento na rede coletora, em lagoas com grande tempo de retenção, aplicação no

terreno, aterros sanitários e aproveitamento de subprodutos. Os três últimos métodos exigem a redução de seu volume, através da drenagem da água livre, reduzindo assim o seu volume e aumentando a sua densidade, de tal forma que possa promover seu manuseio com facilidade.

Sendo assim diversas tecnologias de manejo vem sendo testadas dentre elas os processos não mecânicos como lagoas de lodo e leitos de secagem, dispositivos mecânicos como filtros prensas, filtração a vácuo, filtros prensa e de correia e centrifugação (RICHTER, 2001).

Este estudo foi realizado na Estação de Tratamento de Água de Gramame, que abastece os municípios de João Pessoa e Cabedelo. O resíduo (lodo) gerado pelos decantadores dessa estação é encaminhado a duas lagoas de lodo que se situam adjacente a ETA. As lagoas foram construídas com o objetivo de sedimentar o resíduo e eliminar a água sobrenadante através de dispositivo que lança o efluente descartável no rio Gramame à jusante do reservatório Gramame/Mamuaba, reduzindo assim o volume do lodo para a disposição final no aterro sanitário. Porém, desde sua inauguração, em março de 1991, esse processo de remoção e encaminhamento ao aterro não foi realizado.

Uma das grandes dificuldades na escolha de alternativas de engenharia que contemplem o tratamento de despejos gerados em ETA é a escassez de dados e de bibliografia nacional a respeito do assunto. No Brasil, poucas ETA's têm apresentado soluções que objetivem a minimização da quantidade de despejos gerados, seu tratamento e sua disposição final (FERREIRA FILHO, 1998).

Dessa forma, se faz necessário conhecer as características desse lodo e assim encontrar alternativas de disposição.

O objetivo do trabalho visa realizar a caracterização do lodo existente nas lagoas de lodo da Estação de Tratamento de Água de Gramame, no intuito de sugerir alternativas de tratamento e disposição para esses resíduos.

A presente dissertação está estruturada em seis capítulos, incluindo esta introdução como primeiro capítulo, o segundo os objetivos, terceiro apresenta uma sucinta revisão literária. O quarto a metodologia empregada para o desenvolvimento da pesquisa. O quinto apresenta as análises e discussões dos resultados; por fim, no sexto capítulo estão contidas as conclusões do presente estudo. Após este último capítulo, destacam-se as referências utilizadas nesta pesquisa.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Realizar a caracterização do lodo existente nas lagoas de lodo da Estação de Tratamento de Água de Gramame e, sugerir alternativas de tratamento e disposição para esse resíduo.

2.2 Objetivos Específicos

O trabalho tem como objetivos específicos:

- Caracterizar o lodo das lagoas de lodo da ETA Gramame.
- Indicar alternativas de destino final do lodo das lagoas da ETA de Gramame.

3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Nesse capítulo, inicialmente é apresentada uma resumida fundamentação teórica sobre os resíduos gerados em Estação de Tratamento de Água. Em seguida, são abordados aspectos sobre a caracterização desses resíduos e aspectos da desidratabilidade dos lodos, com enfoque as lagoas de lodo. Também são descritos, de forma resumida, as leis e regulamentos relacionados com os resíduos gerados em ETA's. E, por último, são apresentados os métodos de destino final dos resíduos oriundos de ETA's.

3.1 Os Processos de Tratamento de Água para o Abastecimento Público

A Estação de Tratamento de Água é parte do sistema de abastecimento de água onde ocorre o tratamento da água captada na natureza. Esse tratamento tem por finalidade fornecer água em condições tais que obedeça aos parâmetros definidos pelos padrões de potabilidade para consumo humano atendendo as condições mínimas exigidas de:

- Higiene: remoção de bactérias, elementos venenosos ou nocivos, minerais e compostos orgânicos em excesso, protozoários entre outros microrganismos.
- Estética: correção da cor, turbidez, odor, sabor.
- Econômica: redução da corrosividade, dureza, cor, turbidez, ferro, manganês, odor, sabor, etc.

A Portaria nº 518/04 do Ministério de saúde defini os parâmetros de potabilidade da água para abastecimento público de água no Brasil, a qual entrou em vigor em março de 2005, substituindo a Portaria nº 1469 de 2002.

Há diversos processos de tratamento de água como, por exemplo, tratamentos sem coagulação química (filtração lenta), tratamentos com coagulação química (filtração direta ou tratamento completo), arejamento, abrandamento (por troca iônica ou por dosagem de cal) e separação por membrana (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa), cada um gerando resíduos de características distintas (JANUÁRIO, 2005).

As Estações de Tratamento de Águas que empregam o tratamento completo ou convencional usam os seguintes processos unitários (DI BERNARDO, 1993):

- **Coagulação:** Processo unitário que consiste na formação de coágulos, através da reação do coagulante, promovendo um estado de equilíbrio eletrostaticamente instável das partículas, no seio da massa líquida (AZEVEDO, 1987). Os coagulantes mais usados no processo de coagulação são os sais de alumínio ou ferro, como sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso, e policloreto de alumínio, também se utilizam produtos auxiliares conhecidos como polieletrólitos catiônicos, aniônicos ou não iônicos. A coagulação depende de fatores como temperatura, pH, alcalinidade, cor verdadeira, turbidez, sólidos totais dissolvidos, força iônica, tamanho das partículas, etc.
- **Floculação:** Ocorre imediatamente após da coagulação, consiste no agrupamento das partículas eletricamente desestabilizadas (coágulos), de modo a formar outras maiores chamadas flocos, suscetíveis de serem removidas por decantação (ou flutuação) e filtração (AZEVEDO, 1987). A floculação se vê favorecida em condições onde tem uma agitação moderada, aumentando o contacto entre as partículas formando flocos.
- **Sedimentação e flotação:** A sedimentação é a separação das partículas suspensas mais pesadas formadas durante a floculação (flocos) no meio líquido, as quais pela ação da gravidade apresentam um movimento descendente, depositando-se no fundo e formando o lodo. A flotação com ar dissolvido é uma operação utilizada para separar partículas líquidas ou sólidas, de uma fase líquida mediante a adesão das partículas suspensas a bolhas de ar introduzidas no líquido tornando-as de menor massa específica que o meio (METCALF, 1985). A sedimentação ou flotação das partículas suspensas propiciam a clarificação da água pela separação das fases sólida e líquida ao mesmo tempo em que forma no fundo do decantador uma camada de lodo que precisa ser removido periodicamente seja pelo método manual ou mecanicamente (JANUÁRIO, 2005).
- **Filtração:** Consiste na remoção das partículas suspensas e coloidais e dos microrganismos presentes na água que escoam através de um meio filtrante. É considerado como um processo final de remoção de impurezas na ETA, portanto, é um dos responsáveis pelo cumprimento dos padrões de potabilidade da água. Na filtração as

impurezas são retidas no meio filtrante sendo necessária a lavagem dos filtros após certo período de tempo, geralmente, feita por meio da introdução de água com alta velocidade no sentido ascensional. A água utilizada na lavagem é descartada em cursos de água, mas também pode ser retornada ao início do processo de tratamento.

- **Desinfecção:** A desinfecção é um processo em que se tem como objetivo a eliminação ou destruição de organismos patogênicos presentes na água capazes de produzir doenças, mediante a destruição da estrutura celular, interferência no metabolismo com inativação de enzimas e interferência na biossíntese e no crescimento celular. Os agentes desinfetantes podem ser físicos: aplicação de calor, irradiação, luz ultravioleta e outros. Os agentes químicos utilizados são os oxidantes de cloro, bromo, iodo, ozônio, permanganato de potássio e peróxido de hidrogênio e os íons metálicos prata e cobre. Para complementar o tratamento convencional, podem ser adicionados outros produtos químicos à água, como cal, para ajuste final do pH, e flúor, em teores recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS), para proteção dos dentes das crianças contra as cáries (JANUÁRIO, 2005).

3.2 Origem dos Lodos Gerados em Estações de Tratamento de Água

As ETA's brasileiras, em sua maioria, possuem sistema de tratamento convencional com ciclo completo. Estas estações são constituídas de: unidade de mistura rápida; flocculadores; decantadores ou flotadores; filtros; unidades de desinfecção e unidades de correção de pH (Figura 1).

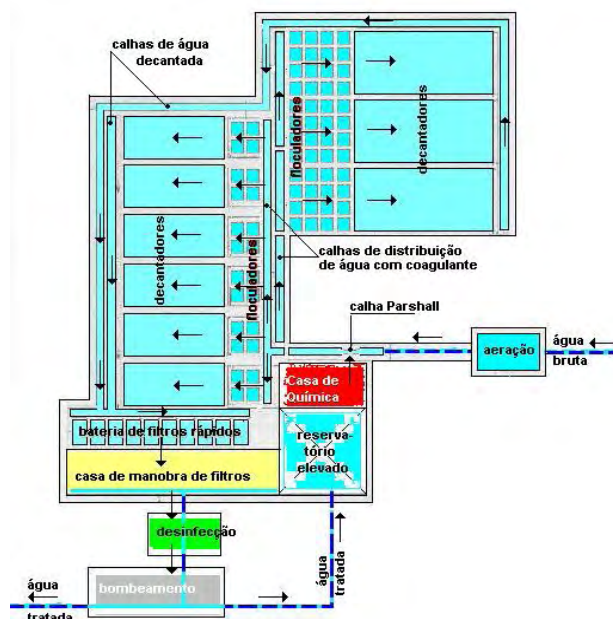


Figura 1 - Esquema de uma ETA convencional.

Fonte: Filho, 2009.

De acordo com Richter (2001), os lodos originados em ETA's são produtos da coagulação da água bruta, sendo assim possuem composição aproximada da água bruta acrescidos dos produtos resultante dos coagulantes utilizados, que podem vir a ser, principalmente, o sulfato de alumínio ou o ferro, como também ser originados, no processo de abrandamento nas ETA's que consiste na precipitação do carbonato de cálcio que tem por objetivo remover a dureza da água. De acordo com Cordeiro (1993), o tratamento convencional da água realizado em Estação de Tratamento de Água leva a sedimentação de partículas em decantadores, que permanecem acumuladas durante um período para depois serem dispostas no ambiente. Essas partículas sedimentadas e armazenadas nos decantadores são chamadas de flocos e são formados pela reação de produtos químicos, entre eles compostos de alumínio, com impurezas da água, através do processo de coagulação-floculação. Esses flocos constituem o lodo das ETA's e, podem conter traços de alumínio, plâncton, metais, sais diversos, microrganismos, entre outros (CORDEIRO, 1993).

Barbosa (2000), por sua vez, afirma que os resíduos gerados nas ETA's são constituídos por materiais removidos da água bruta, por produtos químicos adicionados à água durante o tratamento e pela própria água que atua como agente transportador destes mesmos resíduos.

As duas fontes mais importantes onde é originado o lodo de ETA's são os decantadores e os filtros (Figura 2). De acordo com Richter (2001), a porcentagem de lodo removido depende de onde ele é originado, seja nos decantadores ou de flotadores, de filtros rápidos convencionais, de unidades de filtração direta, e da técnica e método adotado para remoção do lodo e, geralmente, se encontra na faixa de 0,2% a 5% do volume de água tratada pela ETA. Os valores mais baixo são encontrados nos decantadores convencionais, valores esses inferiores a 0,5%, porém depende da frequência em que são dadas as descargas e no caso dependendo dos clarificadores em mantos de lodos.

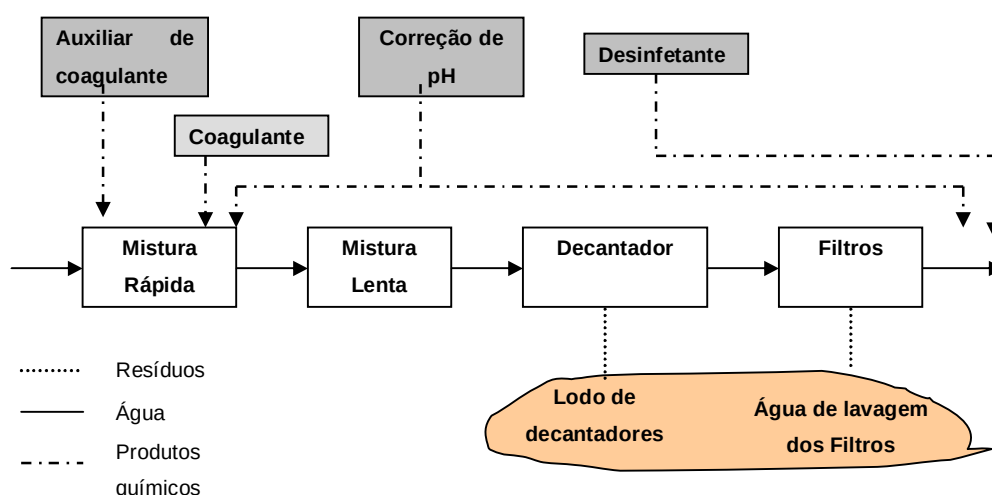


Figura 2- Ponto de geração de resíduos em ETA convencional.

Fonte: Adaptado de Cordeiro, 2001.

Segundo Gradin *et al* (1993), o lodo produzido nas ETA's é composto de argila, siltes, areia fina, material húmico e microrganismos, bem como de produtos provenientes do processo de coagulação.

Silva *et. al.* (2000) complementam a composição dos lodos com hidróxidos de alumínio, em grande quantidade, proveniente da adição de produtos químicos e em alguns casos polímeros condicionantes utilizados no tratamento da água.

Segundo Richter (2001), os lodos de ETA's dependem dos processos que são adotados durante o tratamento, que pode incluir troca iônica e/ou separação por membranas (microfiltração, osmose reversa, ultrafiltração, entre outros), porém esses processos são raramente utilizados. De acordo com Richter (2001), a grande maioria da ETA's está incluída em duas categorias:

- **Coagulação/Filtração:** A tradicional que inclui como processos unitários mais utilizados no tratamento com objetivo de remoção de cor/turbidez: pré-sedimentação, oxidação, coagulação/floculação, clarificação por decantação ou por flotação, filtração e desinfecção. Há casos em que alguns dos processos são eliminados, como no caso da filtração direta ou por contato, onde não existe a separação de sólidos intermediária por decantação ou flotação.
- **Abrandamento (ou remoção de dureza) por precipitação:** A estrutura física das unidades do processo é similar ou igual ao tipo tradicional por coagulação/filtração, entretanto objetivo é a remoção de dureza, através da precipitação do carbonato de cálcio e/ou de magnésio.

De acordo com a American Water Works Association (AWWA, 1987), os resíduos originados em ETA's convencionais podem ser divididos em 4 (quatro) categorias:

- Resíduos gerados durante o processo de tratamento de água, com objetivo de remover a cor e turbidez. De forma geral, os lodos produzidos englobam os provenientes dos decantadores e das águas de lavagem dos filtros.
- Resíduos sólidos gerados durante os processos de abrandamento ou remoção de dureza.
- Resíduos gerados durante os processos de tratamento avançado, com objetivo de reduzir os compostos orgânicos presentes na água bruta, tais como carvão ativado granular saturado, gerados durante os processos de arraste com ar.
- Resíduos gerados durante os processos de redução de compostos inorgânicos presentes na água bruta, tais como processos de membrana (osmose reversa, ultrafiltração e nanofiltração).

3.3 Características do Lodo de ETA

Qualquer tipo de lodo consiste em uma combinação entre uma fase sólida e uma quantidade de líquido. Na Figura 3, estão apresentados os estados físicos da água presente nos resíduos de ETA's.

Segundo Smollen e Kaffar (1998) a ordem crescente de dificuldade de separação consiste:

- Água livre: água não associada com partículas sólidas.
- Água intersticial ou capilar: água ligada mecanicamente, a qual se encontra presa aos interstícios dos flocos.
- Água vicinal: constituída por múltiplas camadas de moléculas de água ligadas fisicamente, as quais se encontram firmemente presas à superfície da partícula por meio de pontes de hidrogênio.
- Água de hidratação: água quimicamente ligada à superfície das partículas sólidas.

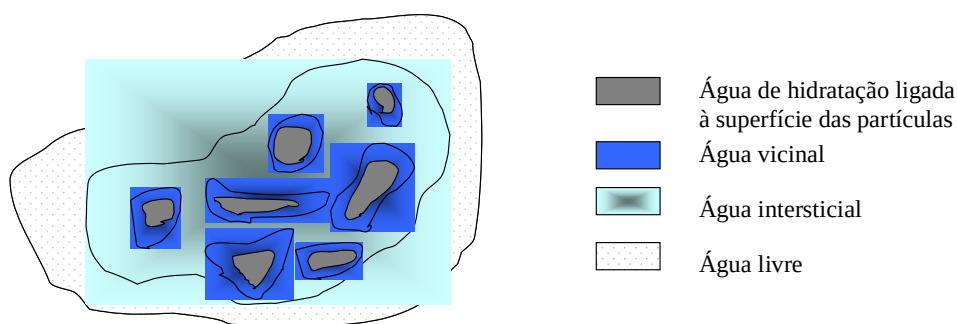


Figura 3 - Ilustração das frações de água constituintes dos lodos de ETAs.

Fonte: Adaptado Smollen e Kafaar, 1994.

São essas frações de água presente no resíduo (lodo) que determinam as características de retenção de água e, conseqüentemente, o desempenho do sistema a ser utilizado para remoção dessa água. A remoção da água do lodo tem por objetivo viabilizar o transporte e disposição dos resíduos (lodo) ao seu destino final. Esses processos são realizados nas

operações de desidratação, como é o caso das lagoas de lodo que serão detalhadas posteriormente.

É de fundamental importância ter conhecimento das características dos resíduos gerados em ETA's, para definir os métodos de tratamento e disposição final. Vários parâmetros físicos, químicos e biológicos podem ser utilizados para caracterização dos resíduos, dentre eles: teor de sólidos, turbidez, pH, alcalinidade, indicadores do teor de matéria orgânica (demanda bioquímica de oxigênio - DBO, demanda química de oxigênio - DQO, carbono orgânico total - COT, concentração de sólidos voláteis - SV), indicadores bacteriológicos (coliformes totais, coliformes termotolerantes, *E. coli*, cistos de *Giardia*, oocistos de *Cryptosporidium*), concentração metais pesados (manganês, chumbo, alumínio, ferro e etc).

A determinação da série de sólidos tem sido uma das principais formas de caracterização dos resíduos de tratamento de água (lodo), dentre eles os Sólidos em Suspensão Totais (SST) e Sólidos Totais (ST).

O tipo de tratamento e o coagulante utilizado durante o processo de tratamento da água é que define as características do resíduo (lodo) gerado. De acordo com Kawamura (2000), em uma Estação de Tratamento de Água convencional o lodo proveniente da descarga de decantadores, que utiliza coagulantes a base de alumínio tem características semelhantes ao que está descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Características usuais do lodo de decantadores de ETAs que utilizam sulfato de alumínio como coagulante.

DBO	DQO	pH	Sólidos	Al₂O₃	Material	Orgânicos
(mg/L)	(mg/L)		Totais (%)	(% ST)	Inerte (%ST)	(% ST)
30 a 300	30 a 5000	6 a 8	0,1 a 4	15 a 40%ST	35 a 70%ST	15 a 25%ST

Fonte: Kawamura, 2000.

De acordo com Richter (2001), o teor de sólidos totais presentes no lodo de ETA varia entre 1.000 mg/L a 40.000 mg/L (0,1 a 4%), sendo 75% a 90% de sólidos suspensos e 20% a 35% de sólidos voláteis, apresentando, portanto, uma pequena porção biodegradável que pode ser prontamente oxidável.

Segundo Richter (2001), o lodo produzido em ETA's que utilizam como coagulante o sulfato de alumínio em seu tratamento apresenta baixa biodegradabilidade e suas principais características são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Características Típicas de Lodos de ETA.

Sólidos Totais (%)	Al₂O₃.5H₂O (%)	Inorgânicos (%)	pH	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)
0,1 – 4	15 – 40	35 – 70	6 – 8	30 - 300	30 – 5.000

Fonte: Richter, 2001.

As Tabelas 3 e 4 apresentam alguns exemplos citados por vários pesquisadores em relação à características dos resíduos gerados em ETA's.

Tabela 3 - Características dos resíduos gerados em diferentes ETAs.

Autor (Ano)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	pH	ST (mg/L)	SV (%ST)	SS (%ST)
Neubauer (1968)	30 a 150	500 a 15.000	6,0 a 7,6	1.100 a 16.000	20% a 30%	-
Sutherland (1969)	100 a 232	669 a 1.100	7	4.300 a 14.000	25%	80%
Bugg (1970)	380	1.162 a 15.800	6,5 a 6,7	4.380 a 28.580	20%	-
Albrecht (1972)	30 a 100	500 a 10.000	5,0 a 7,0	3.000 a 15.000	20%	75%
Culp (1974)	40 a 150	340 a 5.000	7	-	-	-
Nilsen (1974)	100	2.300	-	10.000	30%	-
Singer (1974)	30 a 300	30 a 5.000	-	-	-	-
Cordeiro (1981)	320	5.150	6,5	81.575	20%	-
Vidal (1990)	449	3.487	6,0 a 7,4	21.972	15%	-
Vidal (1990)	173	1.776	6,7 a 7,1	6.300	73%	-
Cordeiro (1993)	-	5.600	6,4	30.275	26%	-
Patrizzi (1998)	-	-	5,5	6.112	19%	-
Patrizzi (1998)	-	-	6,8	6.281	-	-

Fonte: Cordeiros, 1999.

Tabela 4 - Características dos resíduos de estações de tratamento de água.

Parâmetros		Cordeiro (1993) DC ^a	Bidone (1997) DC ^a	PROSAB (2000) DC ^a	Di Bernardo et al. (1999) DAT ^b	Conwell (1987) Dc ^a
DQO (mg/L)		5600	-	4800	640	-
pH		6,4	-	7,2	7,9	-
ST (mg/L)		30275	3,50%	58630	-	-
SV(mg/L)		7951	1,02	-	-	-
SST (mg/L)		27891	-	26520	22005	-
Sól. Sed (mg/L)		710	-	-	-	-
METAIS (mg/L)	AL	3965	1500	11100	-	850
	Zn	2,13	-	4,25	1,7	0,11
	Pb	2,32	-	1,6	0,88	0,5
	Cd	0,14	-	0,02	0,05	0,01
	Ni	2,7	-	1,8	1,06	-
	Fe	3382	-	5000	940	33
	Mn	1,86	-	60	10	0,34
	Cu	1,47	-	2,05	1,05	0,45
	Cr	3,82	-	1,58	0,42	0,35

a: Lodo de decantador convencional que utiliza sulfato de alumínio

b: Lodo de decantador de alta taxa adaptado de ETA que utiliza sulfato de alumínio (descarga mensal).

Fonte: adaptado de Barroso (2001).

A Tabela 5 mostra as características dos resíduos de decantadores e de água de lavagem de filtros de diferentes ETA's brasileiras e adicionalmente comparadas com os parâmetros de lançamento estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA N° 357/05.

Tabela 5 - Características dos resíduos de diferentes ETA's no Brasil.

Parâmetros	Unidade	CONAMA 357/05	Lodo de decantadores			Água de lavagem de filtros	
			ETA 1 ^(a) (DC)	ETA 2 ^(b) (DC)	ETA 3 ^(c) (DAT)	ETA 1 ^(d)	ETA 3 ^(e)
pH	-	5-9	7,2	7,4	8,93	6,9	8,4-9,2
sólidos sedimentáveis	ml/L	1	-	-		3,4	-
sólidos suspensos	mg/L	-	26520	15330	775	59	200-440
Alumínio	mg/L	-	11100	30	2,16	0,3	-
Arsênio	mg/L	0,5	-	-	-	-	-
Cádmio	mg/L	0,2	0,02	0,27	ND	ND	ND
Chumbo	mg/L	0,5	1,6	1,06	ND	ND	0-1,5
Cobre dissolvido	mg/L	1	2,06*	0,91*	1,7*	0,06*	-
Cromo VI	mg/L	0,5	1,58*	0,86*	0,19*	ND	0-0,56*
Cromo III	mg/L	2					
Ferro solúvel	mg/L	15	5000	4200	214	6,9	8,7-31,9
Mercúrio total	mg/L	0,01	-	-	-	-	-
Níquel total	mg/L	2	1,8	1,16	ND	ND	0-0.01
Prata total	mg/L	0,1	-	-	-	-	-
Zinco total	mg/L	5	4,25	48,53	0,1	0,64	0-0,01

a: DC - Lodo de decantador convencional (sulfato de alumínio como coagulante). Fonte: Barroso e Cordeiro (2001)

b: DC - Lodo de decantador convencional (utiliza cloreto férrico como coagulante). Fonte: Barroso e Cordeiro (2001).

c: DAT - Lodo de decantador de alta taxa com descarga periódica (utiliza cloreto férrico como coagulante). Fonte: Barroso e Cordeiro (2001).

d: Água de lavagem de filtros de ETA que utiliza Sulfato de Alumínio (Filtração com taxa constante). Fonte: Di Bernardo et al. (1999). ND – Não detectado

e: ETA convencional alta taxa (utiliza cloreto férrico como coagulante). Fonte: Souza (2004).

*cromo total; ferro total; manganês total, cobre total.

Fonte: Barroso (2009).

3.4 Resíduos Gerados nos Filtros

Nos filtros são gerados resíduos durante a lavagem onde possuem vazões elevadas e baixas concentrações de sólidos. A tecnologia utilizada para a clarificação da água, tipo de filtro, como também o coagulante utilizado para o tratamento, influenciam diretamente na quantidade de resíduo gerado.

Quando se emprega o cloreto férrico, em comparação ao sulfato de alumínio, faz-se uso de menores dosagens do produto e observa-se o aumento das carreiras de filtração, dependendo obviamente das características da água bruta. Sendo assim, a água decantada pode apresentar menores quantidades de sólidos, diminuindo o número de lavagens e, conseqüentemente, o volume de resíduos gerado em um mesmo período (DI BERNARDO *et al.*, 1999).

De acordo com Di Bernardo *et al.*, (1999), a técnica empregada para a lavagem dos filtros também influencia na geração de maior ou menor volume de resíduos líquidos. No caso de filtros lavados apenas com água, no sentido ascensional, o volume de rejeitos líquidos gerados é maior quando comparados aos sistemas que possuem lavagem auxiliar com ar, seguida da lavagem ascensional.

3.5 Resíduos Gerados nos Decantadores

Segundo Cordeiro (1999), as características dos lodos gerados nos decantadores de ETA de ciclo completo podem ser bastante variadas, dependendo das condições apresentadas da água bruta, dosagens e produtos químicos utilizados, forma de limpeza dos decantadores, entre outros fatores.

Os lodos provenientes de decantadores possuem um alto teor de umidade, comumente maior que 95%, de uma maneira geral se encontram na forma líquida (CORDEIRO, 1999), podendo conter um alto teor de matéria orgânica (KAWAMOTO e FERREIRA FILHO, 1999).

Quando o sulfato de alumínio é utilizado como coagulante primário os resíduos dos decantadores possuem na sua composição grandes concentrações de alumínio. Por ser um dos constituintes do sulfato de alumínio comercial, o ferro também é encontrado no lodo.

As características do lodo de decantador estão intimamente relacionadas com tipo de unidade empregada e suas características operacionais, uma vez que os decantadores convencionais, que não possuem equipamento de extração do lodo, comumente são limpos

em intervalos de tempo de 1 a 4 meses, implicando na geração de resíduos mais concentrados em comparação aos provenientes de decantadores de alta taxa, que utilizam mecanismo de extração do resíduo, onde são limpos frequentemente (SABOGAL-PAZ & DI BERNARDO, 2005).

Outro ponto que interfere na qualidade e na concentração dos resíduos gerados nos decantadores está ligado ao procedimento de limpeza dos mesmos. Quando feita a limpeza manual dessas unidades de decantação, acarreta-se numa maior dificuldade para o gerenciamento desses resíduos.

3.6 Metais Pesados Presentes no Resíduo de ETA

Os metais que são encontrados nos resíduos de ETA são provenientes dos produtos químicos utilizados no tratamento da água para o abastecimento público, é de responsabilidade da empresa que opera o sistema de tratamento exigir controle de qualidade desses produtos frente aos fabricantes, além de todos os materiais que são empregados na produção e distribuição da água.

Além do controle dos produtos que são utilizados para o tratamento da água também é de competência da empresa de saneamento destinar de forma adequada os resíduos gerados por ela, de acordo com as condições exigidas pelas normas vigentes que dispõem sobre o tema.

A Tabela 6 mostra os padrões de lançamento de efluentes, no que se diz respeito aos metais pesados, estabelecidos pela Resolução Nº 357/2005 do CONAMA.

Tabela 6 - Padrão de lançamento de efluente em corpos aquáticos.

Metais	Valor Máximo
Arsênio	0,5 mg/L de AS
Cádmio Total	0,2 mg/L de Cd
Chumbo Total	0,5 mg/L de Pb
Cobre Dissolvido	1,0 mg/L de Cu
Cromo Total	0,5 mg/L de Cr
Estanho Total	4,0 mg/L de Sn
Ferro Dissolvido	15 mg/L de Fe
Mangânes Dissolvido	1,0 mg/L de Mn
Mercúrio Total	0,01 mg/L de Hg
Níquel Total	2,0 mg/L de Ni
Prata Total	0,1 mg/L de Ag
Selênio Total	0,3 mg/L de Se
Zinco Total	5,0 mg/L de Zn

Fonte: CONAMA, 2005.

Quando presente nos cursos d'água, os metais pesados podem desenvolver efeitos tóxicos sobre a biota aquática, além de serem tóxicos ao organismo humano e ao meio ambiente. Quando encontrados no solo, em concentrações elevadas, causam perigo aos organismos vivos. Sendo absorvidos pelas plantas interferem no funcionamento dos estômatos, dificultam a fotossíntese, a respiração e a atividade do mitocôndrio, acarretando na má formação dos vegetais (EWER e SCHLIPKKOTER, 1991; SHOEPPPLERR, 1991 *apud* QUEIROZ *et al.*, 2000).

De acordo com Ewer e Schlipkkoter, (1991) e Shoeppplerr (1991) *apud* Queiroz *et al.*, (2000), no homem os efeitos nocivos vão desde pequenas tonturas, vômitos, diarreia, anemia, necrose no fígado, edema cerebral, câncer, problemas cardiovasculares até graves lesões no sistema nervoso periférico e central. Segundo Rohit e Shela (1994) e Tomioka *et al.* (1994) alguns íons metálicos podem inibir os processos microbiológicos, incluindo a degradação de compostos orgânicos e, afetar significativamente as taxas de biodegradação. Este nível de inibição depende de alguns fatores, dentre os quais se podem citar: concentração, disponibilidade e natureza do metal, meio e espécies microbianas, entre outros.

A presença de metais pesados pode vir afetar a capacidade de autodepuração dos corpos d'água, em virtude desses metais serem inibidores dos microorganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica.

3.7 Sistemas Naturais de Redução de Volume de Lodo de ETA – Lagoas de Lodo

De acordo com Smollen e Kafaar (1994), os lodos são constituídos de fase sólida e fase líquida. A maior parcela destes resíduos corresponde à fase líquida, subdividida em diferentes frações: água livre, água intersticial, água vicinal e água de hidratação. As quantidades relativas das diferentes frações de água determinam as características de retenção de água dos resíduos e, conseqüente, desempenho dos sistemas de remoção de água (REALI, 1999).

A estrutura dos sólidos presentes nos lodos de ETA's é muito complexa, composto por partículas muito pequenas fornecendo um arranjo que pode dificultar a remoção de água. Além disso, a sedimentação das partículas, que passam a ocupar os vazios da massa sólida, dificulta a passagem da água livre (CORDEIRO, 2001). Assim, para a remoção natural de água livre dos resíduos de ETA's pode ser realizada por sistemas naturais de redução de volume, sendo um deles as Lagoas de Lodo. Ressaltando que no Brasil, o uso de sistemas naturais de tratamento de resíduos de ETA's possui grande potencial de aplicação, em decorrência da disponibilidade de área, condições climáticas favoráveis e por ser um sistema de baixo custo, que não necessita de produtos químicos e energia elétrica (CORDEIRO, 2001).

Esse sistema natural é mais viável quando construídos em locais que possuam áreas próximas as ETA's com condições topográficas e geofísicas adequadas. As lagoas devem incluir sistema de bombeamento, tubulação de passagem para entrada do lodo e saída do material decantado, sistema de coleta do drenado para seu encaminhamento ao destino final. E, no caso do sobrenadante este pode vir a retornar ao sistema de tratamento de água.

De acordo com AWWA (1978), a desidratação do lodo em lagoas ocorre pela evaporação na superfície do mesmo, há casos em que em função da profundidade da lagoa, a camada mais inferior do lodo pode vir nunca a secar totalmente. Há casos em que o lodo não é suficientemente desidratado acarretando numa concentração de sólidos superior ao permitido para sua remoção ao destino final.

Os sistemas de lagoas de lodo geralmente possuem duas ou mais unidades operando em paralelo e em seu entorno devem existir proteção contra invasão de águas fluviais de áreas

vizinhas. O lodo é encaminhado ao sistema pelo período de carga de um ano (RICHTER, 2001). Quando uma das lagoas se encontra preenchida é retirada de operação para que possa ocorrer a desidratação do lodo que foi acumulado (REYNOLDS, 1982 *apud* REALI, 1999).

Segundo Di Bernardo (2005) para evitar infiltração e, conseqüentemente, a contaminação do subsolo deve-se revestir os taludes da lagoa com: argamassa, camada de argila, manta de plástico, pintura asfáltica, etc. Quando se trata de lagoa de desaguamento é recomendado ser executado várias lagoas em paralelos com comprimento longo e largura e profundidade relativamente pequenos.

Em regiões onde a taxa de evaporação é superior a de precipitação, a alternativa de desidratação do lodo através de sistemas naturais de redução do volume como o caso das lagoas de lodo se torna mais atraente uma vez que não resulta em efluente líquido até que o lodo seja retirado e encaminhado ao seu destino final.

3.8 Legislação Aplicável

A Norma Brasileira da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT- NBR 10.004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos sólidos quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que esses resíduos possam ser gerenciados adequadamente. Segundo a referida norma, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água são resíduos sólidos, assim como outros resíduos resultantes de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola e de serviço de varrição. A norma estabelece duas classes, “I - Perigosos” e “II - Não perigosos”, sendo que a classe II pode ser subdividida em “II A - Não inertes” e “II B - Inertes”.

Os resíduos de ETA, comumente, não têm características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade, sendo desta forma, considerados da “Classe II – Não perigosos”. Apesar da patogenicidade seja uma característica dos resíduos “Classe I– Perigosos”, segundo a referida norma os resíduos gerados em estações de tratamento de esgotos não estão sujeitos ao critério de patogenicidade, concluindo-se que essa exceção seja estendida também aos resíduos do tratamento de água.

Quanto a sua sub-classificação, os lodos de decantadores e flotadores, assim como a água de lavagem de filtros, tendem a ser classificados como “Classe IIA – Não inertes”, tendo em vista as altas concentrações de alguns metais incorporados em sua estrutura, tais como o alumínio presente nos coagulantes utilizados no tratamento de água.

Di Bernardo *et al.* (1999a) realizou ensaios de caracterização dos sedimentos da ETA Descalvado, em São Paulo, e com os resultados concluiu que se tratava de um lodo “Classe II A – Não inertes”, devido às concentrações de alumínio, ferro e manganês presentes no lodo, superiores aos limites da norma para classificação como resíduo sólido inerte. Sendo assim, restringido o lançamento desses resíduos diretamente nos corpos d’água, devendo-se recorrer a processos adequados de tratamento e disposição final.

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) considera como resíduo sólido, conforme mencionado no Capítulo I “Disposição Preliminares”, Art. 4º Seção II, “os resíduos que se apresentam no estado sólido, os resíduos gasosos contidos em recipientes, os lodos provenientes de sistema de tratamento de água e esgotos, os resíduos gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como os efluentes líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento final em rede pública de esgotos ou corpos d’água ou exijam, para isto, soluções técnicas ou economicamente inviáveis” (BRASIL, 2010)

No Capítulo III, “Gerenciamento de Resíduos Sólidos”, Seção V “Resíduos Especiais”, Subsequente XIII “Lodo de Estação de Tratamento” Art. 128, Lei 12.305/2010 PNRS, diz: “O licenciamento ambiental de sistemas de tratamento de água somente será concedido mediante apresentação de alternativa técnica detalhada de disposição final adequada para os resíduos gerados neste sistema, definida no Plano de Gerenciamento de Resíduo Especial” (BRASIL, 2010)

A Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei 9433/97, constitui, atualmente, o principal diploma legal sobre a gestão de recursos hídricos no País. Nessa lei a bacia hidrográfica é adotada como unidade de planejamento; reconhece o valor econômico da água além de consentir ao poder público o direito de uso dos recursos hídricos, para fins de consumo final, insumo de processo produtivo ou lançamento de resíduos entre outros usos. Sendo assim o lançamento indiscriminado dos resíduos de ETA’s nos corpos d`água, está sujeito ao regime de outorga podendo, receber ou não, autorização.

Com o advento da Lei n.º 9.605, de 12/02/98 – Lei dos Crimes Ambientais, o lançamento irregular destes resíduos passou a ser punida civil, administrativa e criminalmente. Conforme citado em seu Capítulo V, "Dos Crimes contra o Meio Ambiente", na Seção III, "Da Poluição e outros Crimes Ambientais", no Artigo 54, onde diz: "...Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora:Pena - reclusão, de um a quatro anos, e multa.”

A Resolução do CONAMA Nº 357, de 17 de Março de 2005, “dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências”. A Resolução supracitada substitui a antiga Resolução CONAMA Nº 20/86. Esta Resolução prevê em seu art. 11 que “o Poder Público poderá, a qualquer momento, acrescentar outras condições e padrões de qualidade, para um determinado corpo de água, ou torná-los mais restritivos, tendo em vista as condições locais, mediante fundamentação técnica”.

Embora não existam regulamentações específicas à legislação brasileira fornece de forma indireta todas as ferramentas para o controle dos resíduos de ETA's.

A Tabela 7 apresenta as restrições e alguns valores reportados na literatura brasileira, referente aos parâmetros metais e sólidos. Ainda pode ser observado na mesma tabela que os valores de sólidos sedimentáveis e de concentração dos metais chumbo, cobre, ferro e níquel encontrados para os resíduos de ETA's contravêm comumente os parâmetros restritivos estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 375/05. Na referida tabela ainda é mostrado os parâmetros sólidos suspensos e os metais alumínio, cádmio e zinco são superiores aos da Resolução supracitada.

Tabela 7 - Parâmetros restritivos de lançamento de efluentes de resíduos de ETAs brasileiras

Parâmetros	Unidade	Brasil						Di Bernardo et al. (1999) DAT ^a	Cordeiro (1993) DC ^b
		CONAMA 375/05	SP	MG	PB	RS	SC		
pH	-	5-9	5-9	6-9	5-9	6-8,5	6-9	7,9	6,4
DQO	mg/L		-	90	-	variável	-	640	5600
Sólidos sedimentáveis	mg/L	1	-	1	-	-	-	-	710
Sólidos suspensos	mg/L	-	-	100	-	variável	-	22005	27891
Alumínio	mg/L	-	-	-	-	10	-	-	3965
Arsênio	mg/L	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	-	-
Cádmio	mg/L	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05	0,14
Chumbo	mg/L	0,5	0,5	0,1	0,1	0,5	0,5	0,88	2,32
Cobalto	mg/L		-	-	-	0,5	-	-	-
Cobre	mg/L	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1,05	1,47
Cromo VI	mg/L	0,5	0,1	0,5	0,5	0,1	0,1	-	-
Cromo III	mg/L	0,5	-	1	1	-	-	0,42*	3,82*
Ferro Solúvel	mg/L	15	15	10	15	10	15	940	3382
Merúrio	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005	-	-
Molibbdênio	mg/L	-	-	-	-	0,5	-	-	-
Níquel	mg/L	2	2	1	2	1	1	1,06	2,70
Prata	mg/L	0,1	0,02	0,1	0,1	0,1	0,02	-	-
Selênio	mg/L	0,05	0,02	0,02	0,05	0,05	0,02	-	-
Zinco	mg/L	5	5	5	1	1	1	1,7	2,13

a) Lodo de decantador convencional que utiliza sulfato de alumínio

b) Lodo de decantador de alta taxa adaptado de ETA que utiliza sulfato de alumínio (descarga mensal).

* Cromo total

Fonte: adaptado Barroso (2001).

3.9 Impacto Ambiental dos Resíduos de ETA's

Os impactos gerados a partir dos resíduos gerados pelas ETA's estão ligados a composição do lodo que varia de acordo com as características da água bruta, da quantidade

dos produtos químicos utilizados no tratamento da água, possíveis contaminantes contidos nesses produtos, reações químicas ocorridas durante o processo, forma de limpeza e tempo de retenção dos resíduos nos decantadores, características físicas, químicas, biológicas e hidráulicas do corpo receptor, entre outros fatores. O lançamento desses resíduos nas proximidades das ETA's, em redes de águas pluviais ou diretamente em rios e afins, é uma prática comum à maioria das empresas responsáveis pelo tratamento da água destinada ao consumo humano.

Os coagulantes utilizados nas etapas de tratamento nas ETA's são o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) e cloreto férrico (FeCl_3) (HALL & HALL, 1989). Sobretudo em virtude do seu baixo custo os sais de alumínio são mais largamente utilizados pela maioria das ETA's.

De acordo com Hall & Hall (1989) o referido lodo contém concentrações elevadas de metais, principalmente de alumínio e ferro, sendo este lodo lançado "in natura" sem nenhum tratamento prévio em cursos d'água podem vir a causar toxicidade aos organismos aquáticos e, conseqüentemente, a degradação destes meios, além de elevados teores de metais esse resíduo (lodo) possui consideradas concentrações de sólidos, alta turbidez e DQO, que podem originar bancos de lodo, assoreamento, alterações na cor e na composição química e alterações biológicas no corpo aquático (VICORY & WEAVER, 1984).

Quando esse material é lançado em rios ou lagos com baixa velocidade, poderá causar problemas na camada bentônica desses locais (CORDEIRO, 1993).

De acordo com Reali (1999), desconfia-se que concentrações elevadas de alumínio na água distribuída à população podem levar ao mal de Alzheimer. Pesquisas realizadas por Freeman e Everhart, *apud* Cordeiro (1993), a partir de experiências com trutas, em aquários, com dosagens de alumínio de 0,05 mg/L; 0,52 mg/L e 5,2 mg/L e variações do pH, observaram consideráveis mudanças físicas dos peixes, entre elas: apatia e desânimo generalizado, sintoma de inabilidade para se manterem em equilíbrio, mudanças na coloração e baixa na percepção.

Segundo Bourbigot (1988) *apud* Cordeiro (1993), com relação ao homem, pesquisas mostram que a concentração de alumínio não é crítica em nível de células renais, quando esse elemento é excretado normalmente por essas células. Em contrapartida, caso isso não venha a ocorrer, existe a possibilidade do alumínio se concentrar em outras células, como as cerebrais e cardíacas, o que pode vir a ser altamente nocivo, comprometendo de maneira ainda pouco conhecida o funcionamento dessas células.

As concentrações elevadas de alumínio reduzem a desinfecção da água, aumenta a turbidez da água tratada e provoca a deposição de alumínio nas paredes dos tubos (MILLER *apud* CORDEIRO, 1999).

Sendo assim, se faz necessário mais pesquisas que envolvam o efeito do alumínio sobre o meio ambiente e o homem. A Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde estabelece que para as águas destinadas a consumo humano o valor máximo permitido é de 0,2 mg/L.

3.10 Alternativa para o Tratamento, Disposição Final e Reuso do Lodo Gerado em ETA's

A busca por técnicas alternativas que sejam, economicamente e ambientalmente, viáveis é um dos grandes desafios de destinação final do lodo de ETA. O emprego benéfico do lodo de ETA pode ser considerado uma oportunidade para aumentar a receita das empresas de saneamento, além de reduzir custos e impactos ambientais associados a este resíduo (TSUTIYA; HIRATA, 2000). Além de reduzir a quantidade de recursos naturais, utilizados, uma vez que se emprega o lodo como matéria prima, sem citar os espaços nos aterros sanitários que deixam de ser utilizados (CORDEIRO, 2001).

O lodo gerado em ETA possui um valor elevado de água da ordem de (97% a 99,9%) e a maioria desse lodo necessita passar por algum tipo de tratamento antes de ser dado o seu destino final. Um dos tratamentos constitui no aumento na concentração de sólidos no lodo através de adensamento e desidratação (AWWARF, 1990). De acordo com Ferreira Filho e Alem Sobrinho (2008), o adensamento, consiste na operação unitária para a desidratação do lodo, pode ser realizada por flotação, por equipamentos mecânicos, por gravidade e por flotação com ar dissolvido. A desidratação pode ser feita através de meios naturais, dentre eles: leitos de secagem e lagoas de lodo.

Segundo Russell *et al.* (1996), os processos de tratamento dos resíduos podem ser classificados de acordo com a concentração de sólidos obtida, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Características do tratamento da ETA.

Teor de sólidos totais obtido após tratamento	Processo de tratamento dos resíduos
< 8%	Adensamento
8 a 35%	Desidratação
> 35%	Secagem

Fonte: Russell et al., 1996.

Segundo Reali, (1999) e ASCE e AWWA (1996), para a disposição final do lodo de ETA's pode-se mencionar: disposição em aterros exclusivos; disposição em aterros sanitários; aplicação controlada em certos tipos de solo; disposição em cursos d'água; gerenciamento conjunto com lodo de tratamento de esgoto e co-disposição com bio-sólido; aplicações industriais diversas (incorporação em materiais da construção civil e na indústria cerâmica); dentre outras.

Outra maneira de reduzir o volume de lodo a ser descartado é a recuperação de coagulantes a partir do lodo de ETA's, uma vez que entre 35% e 50% dos sólidos presentes no lodo são hidróxidos (TSUTIYA; HIRATA, 2001). De acordo com Gonçalves *et al.*, (1999) além de diminuir o volume de lodo a ser descartado, são reciclados os produtos químicos utilizados na coagulação. Entretanto, esse método é desencorajado por Kawamura (2000), devido aos potenciais efeitos nocivos à saúde decorrentes da recirculação e acumulação de metais pesados no processo.

A Figura 4 mostra as principais alternativas encontradas nos Estados Unidos para a disposição final dos lodos gerados em estação de tratamento de água: disposição em aterros, na agricultura e na rede de esgotos (AWWARF, 1999). Analisando a figura supracitada verifica-se que os maiores percentuais para a disposição do lodo são o uso na agricultura (25%) e a disposição na própria rede coletora de esgoto (24%), seguidos de aterro municipal (20%), aterro exclusivo (13%), descarga em corpos hídricos (11%) e outros não especificados (7%).

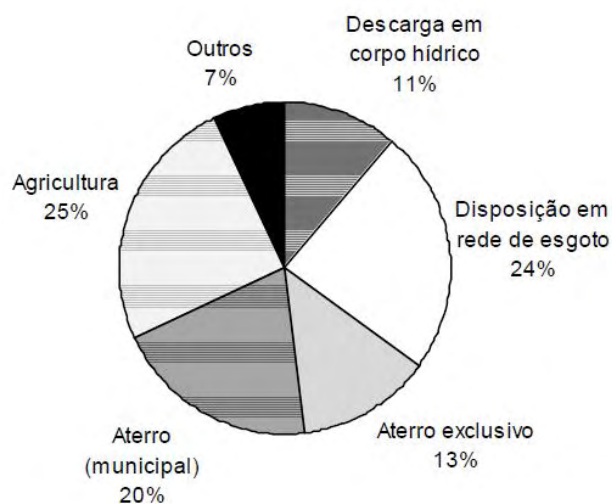


Figura 4 - Disposição final de lodos de ETAs nos Estados Unidos.

Fonte: adaptado de AWWARF (1999).

Segundo Adler (2002), na França 96% das 26.680 ETA's captavam água subterrânea e apenas 4% possuíam manancial superficial. Boa parte das ETA's francesas são de porte pequeno, com vazão inferior a 500 m³/h e em 384 ETA's a produção de lodo é de 175 T/dia. Com relação ao destino final desses resíduos, 30% lançavam em sistemas públicos de esgotos, 13% em aterros sanitários, 6% aplicavam os resíduos no solo e 53% possuíam outras formas de disposição, dentre elas compostagem, construção de diques e incorporação em materiais de construção civil.

Na Noruega a forma de disposição usada são as descargas em corpos d'água, em sistemas públicos de esgotos, como recuperação de produtos químicos, aterro sanitários, aplicação no solo, co-disposição com lodos de estações de tratamento de esgotos (PAULSRUD *et al*, 2002).

Nas ETA's holandesas, em 1989, 2% do lodo gerado eram descartados em corpos d'água, 51% eram estocados, 37% eram dispostos em aterro sanitário, 7% eram usados para controle de gás sulfídrico e 12% eram utilizados na agricultura (SOMBEKKE; KOPPERS, 1992 *apud* HORTH *et al.*, 1994).

De acordo com Simpsom *et al* (2002) no Reino Unido, o lodo das ETA's são dispostos da seguinte maneira: 52% depositos em aterros, 25% em descargas, 4% são transportados a ETE's, 2% enviados a lagoas, 2% são dispostos em corpos d'águas, 9% são utilizados em novos métodos e 6% são encaminhados para aterro próprio (Figura 5).

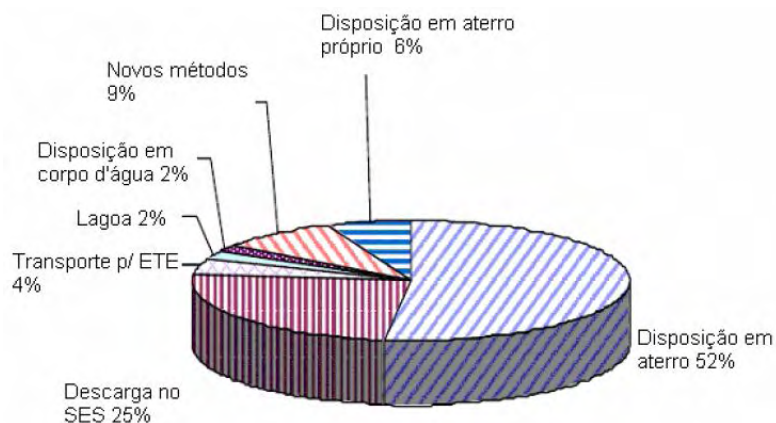


Figura 5 - Método de disposição do lodo de ETA no Reino Unido.

Fonte: SIMPSON *et al.*, 2002

Os requisitos para disposição final ou uso produtivo dos resíduos (lodo) provenientes de ETA's, envolvem aspectos qualitativos. Nesse caso, o processo de tratamento do resíduo deve ser escolhido e projetado de forma a atender as limitações existentes, que podem englobar parâmetros tais como: residuais de ferro ou alumínio, potencial de formação de Trihalometanos - THM, traços de determinados metais, pH, COT, dentre outros (RUSSEL *et al.*, 1996).

3.10.1 Disposição em Aterros Sanitários

No Brasil, a NBR 10.004 tem sido utilizada para licenciar e operar aterros sanitários, estendendo-se seus conceitos para enquadramento dos lodos de ETA's e ETE's e suas respectivas disposições nesses aterros.

A disposição do lodo em aterros Classe II é alternativa conhecida, sendo um método seguro para a saúde pública e ambiental quando corretamente projetado e operado, podendo ser viabilizada a partir de aterros existentes ou da implantação de aterros exclusivos. No caso de aterros particulares ou municipais, a disposição dos lodos desidratados implica em custos de transporte e disposição e, no caso de aterros exclusivos, em custos de implantação, operação e transporte até o local. Estudos realizados na região metropolitana de São Paulo mostram que os custos médios de transporte e disposição final de lodos em aterros particulares situam-se em torno de R\$ 60,00 a R\$ 80,00 por tonelada de lodo desidratado (JANUÁRIO *et al.*, 2007).

De acordo com Bidone *et al*, (2001), os aterros sanitários apresentam-se como uma alternativa viável devido à disponibilidade de áreas acessíveis economicamente nas cidades de pequeno e médio porte. Segundo Richter (2001) para a disposição do lodo em aterro municipal o mesmo deve estar adequadamente desidratado, não contendo água livre e deve ter um valor de sólidos inferior a 25%.

Januário *et al*, (2007) explicam que mesmo adotando-se alternativas de disposição, propõe-se sempre prever a utilização de aterros sanitários como opção de armazenamento dos resíduos de ETA's (lodos), uma vez que pode haver necessidade de sua utilização em casos de variações bruscas na quantidade ou qualidade dos lodos, a fim de absorver a produção excedente, e nas eventuais contingências referentes a restrições no tráfego de veículos pesados na área ou eventual paralisação da alternativa escolhida (uso benéfico ou não) em função de restrições de mercado, restrições sazonais ou impedimentos legais e institucionais. O referido autor ainda acrescenta que a solução sobre aterro seja ele particular, municipal ou exclusivo não pode ser cogitada como uma medida comparativa de destino final, devendo ser focalizado como uma solução a acrescentar ao final.

3.10.2 Aplicações na Indústria da Construção Civil

A utilização de resíduos industriais reciclados como componente na fabricação de materiais de construção civil traz inúmeros benefícios ambientais, uma vez que substitui a utilização de recursos naturais por resíduos reciclados. O setor da construção civil chega a consumir em torno de 75% dos nossos recursos naturais, sendo desta forma um consumidor de grande parte dos resíduos gerados nos mais variados setores industriais. As Estações de Tratamento de Água também são consideradas industriais, pois, para obter a água tratada que é o produto final, gera-se o lodo.

Devido à semelhança dos lodos de ETA's com materiais argilosos, várias pesquisas foram realizadas em cima da incorporação em materiais de construção, como é caso das cerâmicas vermelhas (telhas, tijolos e manilhas) e em matrizes de argamassa e concreto. Essa aplicação pode reduzir a utilização de recursos naturais (areia e argila) e minimizar os impactos dos rejeitos produzidos pelas ETA's (REALI, 1999; SALES e CORDEIRO, 2001; HOPPEN *et al*, 2003; DAVID *et al*, 2002). Um dos maiores empecilhos para essa utilização é a viabilidade econômica e a aceitação desse novo produto ao invés dos convencionais.

Os lodos de ETA's apresentam partículas finas a coloidais, em virtude da passagem praticamente total na peneira de nº 200 (abertura da malha de 0.075 mm) e comportamento

perante a etapa de sedimentação do ensaio de granulometria. Sendo pelo aspecto textural, as partículas enquadram-se como siltes e argilas, segundo a escala da ABNT (SARTORI, 1997).

Segundo Tsutiya; Hirata (2001), o lodo de ETA pode ser aplicado durante o processo de fabricação de tijolos ou diretamente na própria jazida onde a argila é retirada. Quando aplicado nas próprias jazidas, o lodo que é previamente desidratado é transportado e aplicado na proporção de 10% de lodo e a mistura com a argila é realizada *in loco* (TSUTIYA; HIRATA, 2001).

De acordo com Tsutiya; Hirata (2001), o teor de umidade do lodo é parâmetro importante para determinar de forma será manuseado. Os autores supracitados explicam que quando o lodo possui um valor alto de umidade, pode vir a prejudicar o caminhamento dos componentes durante o processo de fabricação, uma vez que obstruir passagens aderindo-se à partes do sistema. Em caso de se aplicar diretamente é desejável que a umidade seja superior a 20%, para aplicação durante o processo. Entretanto, muitos fabricantes exigem um teor de umidade maior ou igual a 50%.

Retração é um parâmetro de decréscimo de tamanho resultante da secagem ao ar ou e ao forno. As argilas naturais tem, normalmente, retração ao ar de 2% a 8% e retração ao forno de 2,5% a 10%. Há casos em que a retração do lodo pode chegar a 20%, limitando assim a proporção em que o lodo é aplicado. Melhor será a aplicabilidade do lodo caso a sua granulometria seja similar a da argila. Em contrapartida, quanto maior o teor de areia, maior será seu impacto negativo na qualidade final do tijolo. A presença de carvão ativado no lodo inviabiliza sua aplicação, uma vez que causa expansão e, conseqüentemente, rachaduras no tijolo (TSUTIYA, 2001).

3.10.3 Disposição no Solo

De acordo com Reali (1999), pode ser adotada a disposição em solo quando não se caracterizar a existência de impactos negativos ao mesmo. Segundo Teixeira *et al* (2005), em caso dos solos degradados a incorporação do lodo poderá vir a gerar a recuperação em virtude do aumento de teores de macronutrientes e do pH do solo, principalmente, se for associado um resíduo orgânico. Se o lodo for originado por coagulante a base de alumínio, sua disposição dever ser cuidadosa, pois o alumínio possui grande afinidade de ligação com o fósforo disponível para as plantas (REALI, 1999; IPPOLITO *et al.*, 2003 e HSU e RENNIE, 1962 *apud* GALARNEAU e GEHR, 1997; LIJKLEMA, 1980 *apud* GALARNEAU e GEHR, 1997; SIMS e ELLIS, 1983 *apud* GALARNEAU e GEHR, 1997). Para isso se utiliza um

limite de aplicação de lodo de sulfato de alumínio a um máximo de 2,2 kg/m² a 4,4 kg/m² (RICHTER, 2007).

Apesar da concentração de alumínio no lodo de ETA que utilizam o sulfato de alumínio como coagulante se assemelhar à concentração de alumínio em solos, algumas medidas devem ser adotadas. Kaggwa *et al* (2001) *apud* Di Bernardo (2005) diz que a presença de alumínio no lodo, em altas concentrações, não é recomendável para disposição do resíduo no solo, pois a ligação desse metal com o fósforo presente na terra pode limitar o crescimento das plantas.

De acordo com Sabbag e Morita (2002), o lodo de ETA's pode ser utilizado como fertilizante, desde que a concentração de alumínio seja menor que 25% em massa.

Segundo Richter (2007) o lodo pode ser aplicado de forma sólida, semi-sólida ou sólida, dependendo apenas do meio de transporte a ser utilizado.

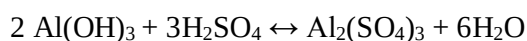
Tsutiya e Hirata (2001) enfocam como principais benefícios da aplicação do lodo de ETA no solo os seguintes pontos: melhoria estrutural do solo, ajuste de pH, adição de traços minerais, aumento da capacidade de retenção de água e melhoria das condições de aeração.

3.10.4 Recuperação de Coagulante

De acordo com Gonçalves *et al.* (1999) a recuperação de coagulantes contidos no lodo de ETA's é economicamente viável, no caso de cidades com populações de 20.000 e 50.000 habitantes. O referido autor ainda diz que a recuperação de coagulantes pode ser realizada através de via ácida, via alcalina, extração com solventes orgânicos e extração com quelantes.

Segundo Tsutiya e Hirata (2001), a recuperação de coagulantes consiste na solubilização das espécies de alumínio ou ferro que têm potencial de coagulação. Como os sólidos contidos no lodo de ETA's 35% a 50% são hidróxidos, com a recuperação do coagulante se terá benefícios com relação a economia de produtos químicos, além de reduzir significativamente o volume e melhora as características de desidratação do lodo produzido (TSUTIYA; HIRATA, 2001).

De acordo com Richter (2001), o esquema tradicional para a recuperação de sulfato de alumínio é baseada na seguinte reação:



Segundo Richter (2001) o sobrenadante que consiste em uma solução de alumínio a pH 2,5 ou menor, é então separado e os sólidos descartados. O autor ainda diz que com esse processo há uma redução significativa no volume do lodo a ser encaminhado à disposição final.

3.10.5 Estação de Tratamento de Água de Gramame

A Estação de Tratamento de Água de Gramame trata atualmente uma vazão de 1917 L/s de água bruta. Na sua futura expansão ela irá tratar mais 1917 L/s, totalizando uma vazão de 3.834 L/s. Essa expansão irá abranger a grande João Pessoa que envolve as cidades de João Pessoa, Cabedelo, Bayeux, Santa Rita e Conde e sua população abastecida será de 1.572.300 habitantes.

A ETA/Gramame (Figura 6), é do tipo convencional de ciclo completo, constando das etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, correção de pH e desinfecção.



Figura 6 – Unidades atuais da ETA-Gramame.

As unidades constitutivas da ETA Gramame (1ª Etapa) são as seguintes (CAGEPA, 1985):

Estrutura de controle

A estrutura de controle (Figura 7) se localiza no fim da adutora, próxima à caixa de chegada e mistura rápida, na área da ETA. É composta por válvulas de controle que condicionam o fluxo na adutora AAB 04 e os níveis no “Stand Pipe”.



Figura 7 - Estrutura de controle.

Caixa de Chegada

A caixa de chegada recebe toda a vazão afluyente a ETA, contendo uma calha Parshall responsável pela mistura rápida e pela medição de vazão e um canal que se divide, levando metade da vazão a cada módulo de tratamento o atual e o que fará parte da futura expansão (Figura 8).



Figura 8 - Caixa de chegada e mistura rápida.

Canal de Distribuição

Localizado na parte frontal aos floculadores, o canal tem seção constante, mede 2,00 m de largura por 56 m de comprimento e profundidade variável 1,3 m no início e 1,2 m no trecho final.

Floculadores

São quatro unidades de floculação cada uma com quatro câmaras de seção quadrada com 7,50 m de lado e 4,50 de profundidade, perfazendo um volume de 250 m³ (Figura 9).



Figura 9 - Flocculador atual da ETA.

Decantadores

São quatro unidades de decantação, tipo acelerada, cada uma medindo 14,90 m por 18,60 m e 4,03 m de profundidade útil. O espaço para armazenamento de lodo é constituído de 16 troncos de pirâmide com 2,50 m de altura (Figura 10).



Figura 10 - Decantador atual da ETA.

Canal de Água Decantada

Tem dois trechos distintos e apresenta uma configuração no formato de Tê, onde um trecho está localizado na parte frontal dos decantadores e o outro, perpendicular ao primeiro trecho, distribui a água decantada aos filtros.

Filtros Rápidos

São oito unidades de filtração, do tipo gravidade, com duas câmaras de filtração, cada uma com 3 m de largura por 11,25 m de comprimento e 4,50 de profundidade (Figura 11).



Figura 11 - Filtros da ETA.

Galeria de Comando

Prédio com dois pavimentos, no primeiro, o térreo, localizam-se as mesas de comando dos filtros e no inferior, o subsolo, estão as tubulações e os vertedores de controle dos filtros (Figura 12).



Figura 12 - Galeria de Comando.

Casa de Química

Prédio com um pavimento térreo, medindo 12 m por 30 m. Nele estão distribuídos os tanques de preparo da suspensão de cal e os dosadores inclusive os de sulfato líquido. Também faz parte do arranjo da casa de química um depósito para estoque de cal hidratada. A casa de química foi projetada para atender a vazão de final de plano (Figuras 13 e 14).



Figura 13 - Casa de Química.



Figura 14 - Casa de cloração

Tanques de Sulfato Líquido

Ao lado do prédio da casa de química estão instalados, numa plataforma de concreto, quatro tanques de fibra de vidro para armazenar sulfato líquido, cada tanque tem capacidade para armazenar 25 m³ (Figura 15).



Figura 15 - Tanques de Produtos Químicos.

Laboratório e Administração

Prédio com um pavimento térreo, medindo 12m por 30m. Nele estão distribuídos os laboratórios de microbiologia e de análises físico- química, um auditório, três salas da administração e de apoio e dois banheiros.

A Figura 16 mostra a planta esquemática do sistema de captação e tratamento d'água, utilizada na ETA de Gramame.

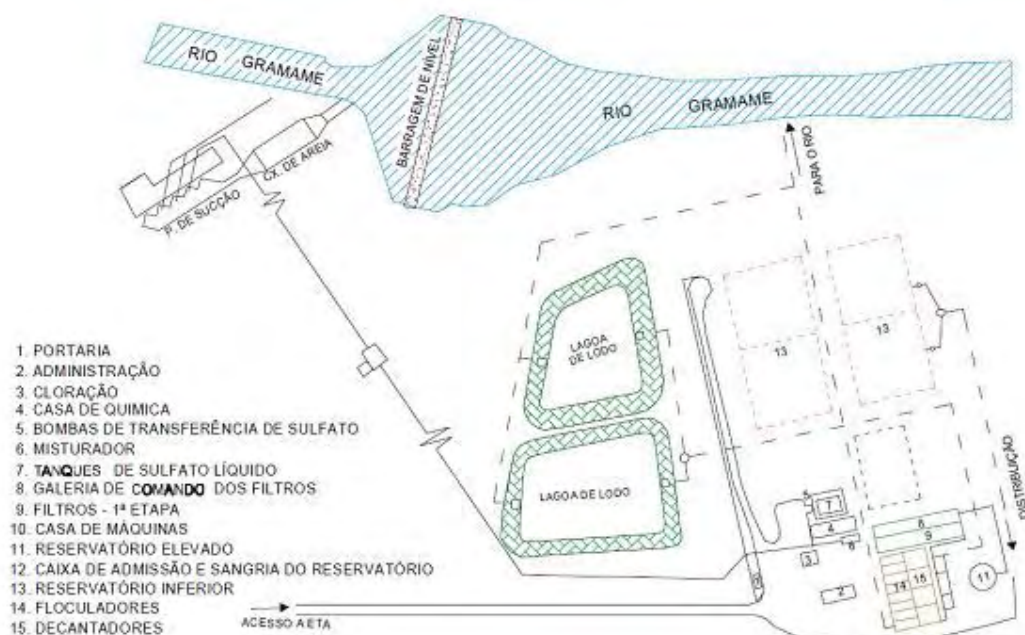


Figura 16 - Planta esquemática do sistema de captação e tratamento d' água, utilizada na ETA/Gramame.

Fonte: Menezes, 2005.

A Tabela 9 apresenta as características do atual tratamento da ETA de Gramame.

Tabela 9 - Características do tratamento da ETA.

Características do Tratamento da ETA/Gramame				
Vazão (L/s)	Dimensões das Unidades			
	Floculador	Decantador	Filtros	Contato
Nominal: 1.917	Mecanizado com volume total de 3.456 m ³	Quatro unidades com área total de 1.108m ²	Oito unidades; área total de 553m ³	Volume total de 40.000m ³
Tratada: 1.917				

Fonte: CAGEPA, 1985.

A Figura 17 apresenta a planta esquemática das unidades que irão constituir o novo modulo de tratamento da ETA Gramame.

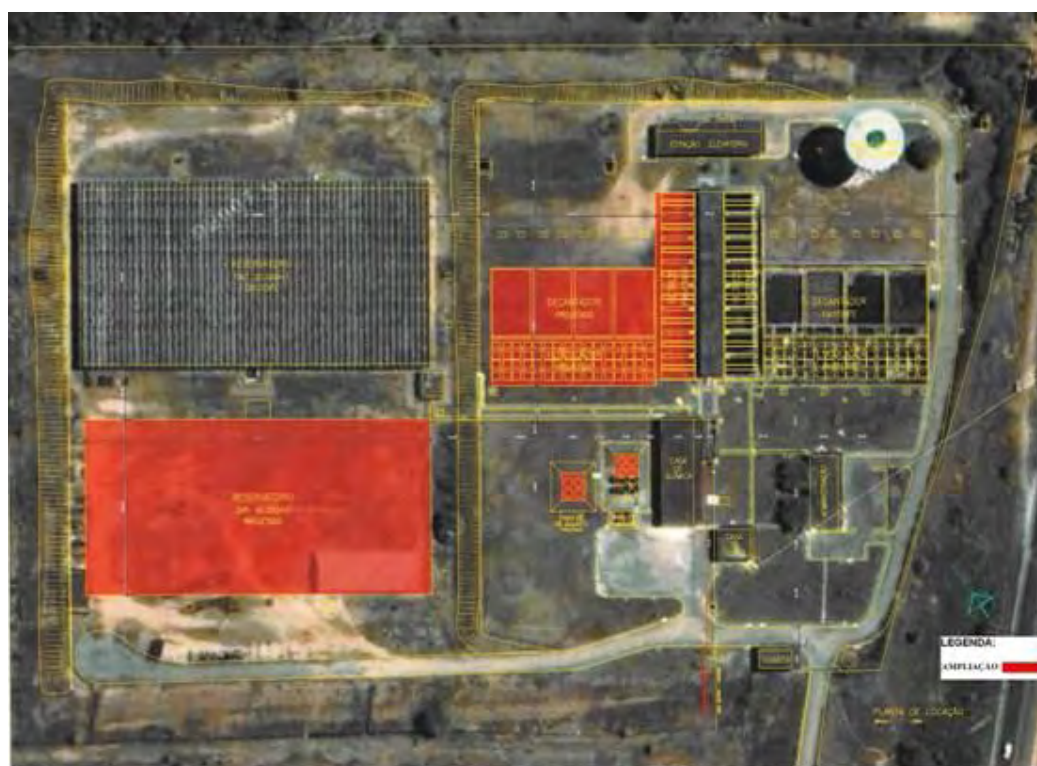


Figura 17 - Planta esquemática da ampliação da ETA Gramame.

Fonte: Adaptado, Google Earth, 2010.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Estação de Tratamento de Água Gramame (Figura 18), localizada no município do Conde/Paraíba, Brasil. A tecnologia de tratamento é convencional de ciclo completo, vazão média atual de 1917 L/s, utiliza como coagulante Sulfato de Alumínio e o lodo gerado nos decantadores são encaminhados a 2 lagoas de lodo localizadas adjacentes a ETA.



Figura 18 - ETA Gramame e lagoas de lodo.

Fonte: Google Earth, acesso em 2/02/2010.

4.1 Descrição das Lagoas de Lodo da Estação de Tratamento de Água de Gramame

As duas lagoas de lodo da ETA-Gramame foram executadas para receber o lodo gerado pelo decantadores, onde por sedimentação o lodo é processado.

O volume de água tratada atualmente na ETA Gramame é de 1917 L/s que corresponde a 3,84 L/s a 76,68 L/s de lodo gerado. Segundo Richter (2001) o lodo gerado pela ETA's são de 0,2% a 4% do volume de água tratada.

Na lagoa foi projetado dispositivo de eliminação da água sobrenadante, facilitando assim a desidratação do lodo. Após o processo de desidratação o lodo deveria ser

periodicamente, removido das lagoas e encaminhado ao aterro, porém esse processo de remoção nunca ocorreu.

Atualmente, as duas lagoas da ETA/Gramame estão desativadas e durante o tempo de funcionamento, que foi de 18 anos, de 1999 a 2008, o lodo dos decantadores encaminhados as lagoas não foram direcionado ao destino final. Portanto, o estudo será focado nesse lodo existente nas lagoas para assim encontrar soluções adequadas de destino final.

As Figuras 19 e 20 apresentam a planta e cortes das lagoas de lodo da ETA Gramame, respectivamente.

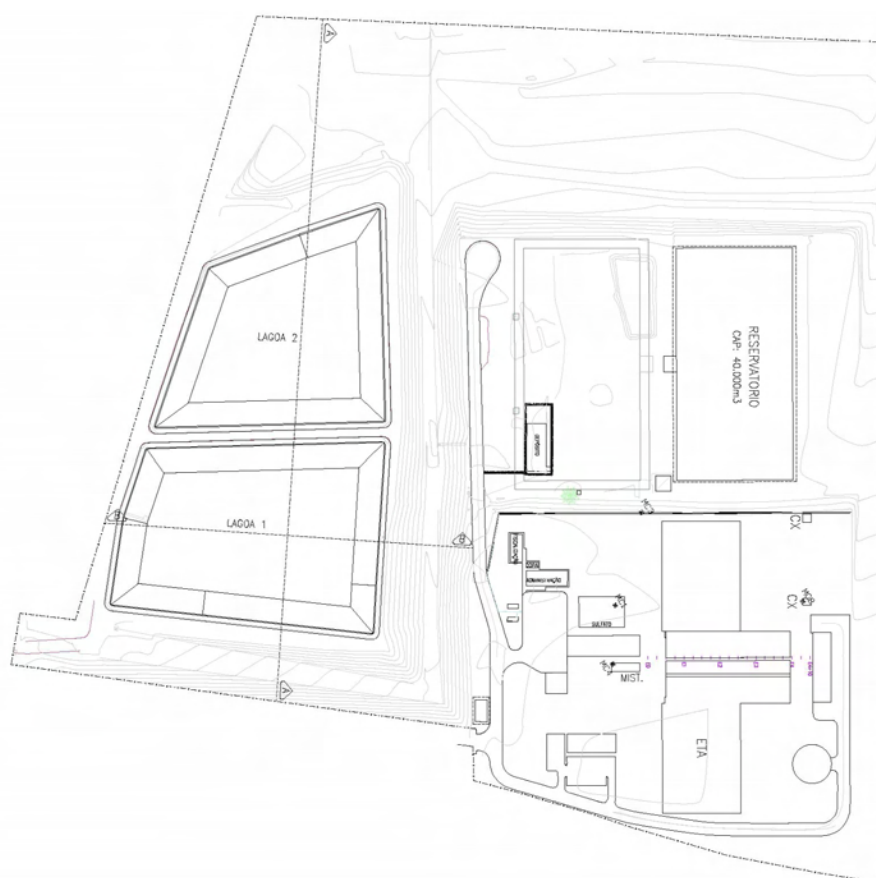


Figura 19 - Lagoas de Lodo ETA Gramame (Planta).

Fonte: CAGEPA (1985).

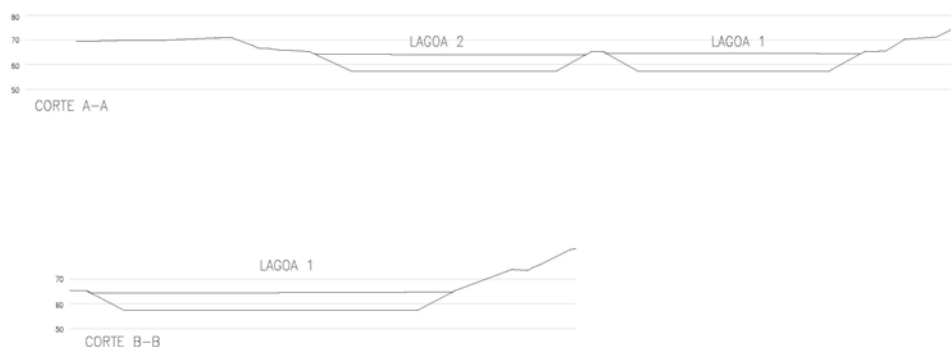


Figura 20 - Lagoa de Lodo (Cortes)

Fonte: CAGEPA (1985).

As dimensões e volumes aproximados das lagoas estão apresentados a seguir (CAGEPA, 1985).

Lagoa 1

- Largura maior: 118,12 m;
- Comprimento maior: 142,40m;
- Altura: 7,22 m
- Volume: 68.121,35 m³

Lagoa 2:

- Largura maior: 101,75 m;
- Comprimento maior: 109,20 m;
- Altura: 6,80 m;
- Volume: 50.511,34 m³

4.2 Desenvolvimento do Experimento

O trabalho de avaliação do experimento foi dividido nas seguintes etapas: coleta e análise qualitativa das amostras de lodo das lagoas e, análise estatística dos dados.

As análises foram realizadas entre o período de Outubro de 2009 a Abril de 2010 nas duas lagoas de lodo.

4.2.1 Definição dos Pontos de Amostragem e Métodos Utilizados

- **Definição dos pontos de coletas nas lagoas de lodo** – Em função dos dados obtidos sobre as lagoas foram definidos 4 pontos de amostragem distribuídos de acordo com a (Figura 21). Os pontos de coletas estão localizados a 75 cm da linha de referência (Figura 22) e a profundidade de coleta foi de aproximadamente 1m abaixo da linha d'água.

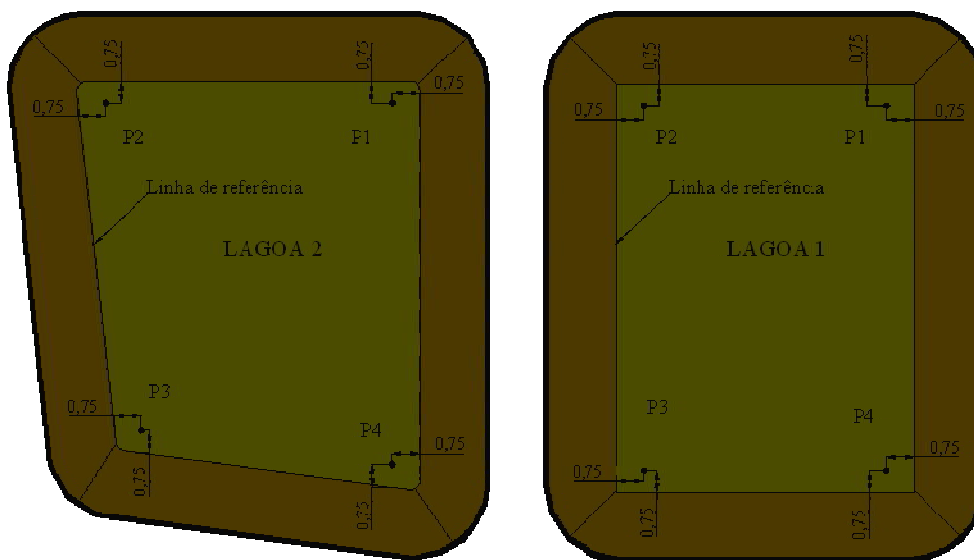


Figura 21 – Distribuição dos pontos de coletas nas lagoas de lodo.

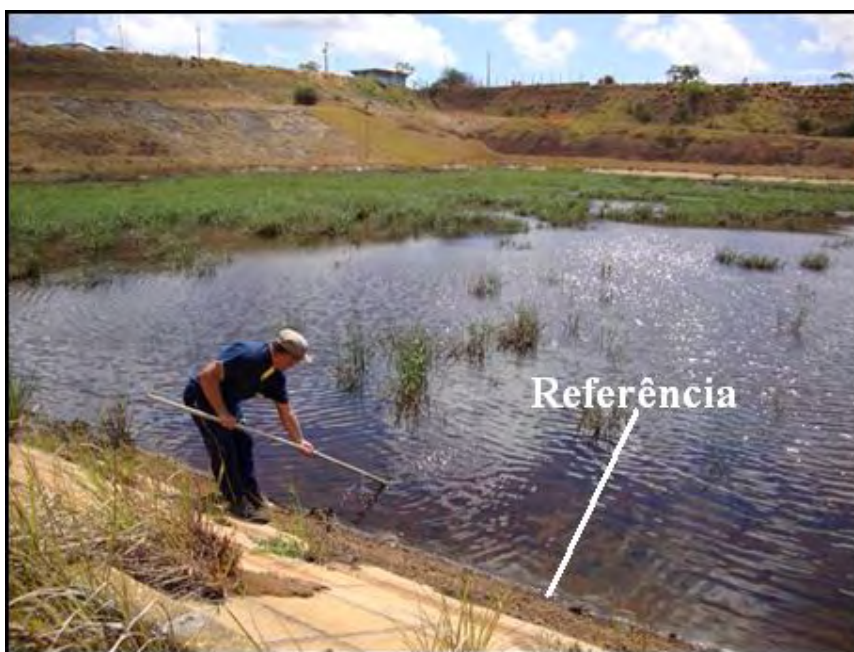


Figura 22 - Coleta das amostras de lodo realizada nas lagoas de lodo.

- **Período de amostragem:** As amostras foram coletadas mensalmente, tendo início em outubro de 2009 e finalizada em abril de 2010.
- **Parâmetros analisados para as amostras de lodo:** pH, DBO₅, DQO, ST, SV, SF, Al, Chumbo, Ferro, Fósforo, Nitrogênio, Potássio, COT, coliformes totais e termotolerantes, além de análise granulométrica.

O Quadro 1 apresenta de forma sucinta os parâmetros analisados e os métodos utilizados.

Quadro 1 - Métodos de determinação dos parâmetros.

Parâmetros	Método
pH	APHA, AWWA, WEF, 1998
Sólidos Totais	APHA, AWWA, WEF, 1998
Sólidos Fixos	APHA, AWWA, WEF, 1998
Sólidos Voláteis	APHA, AWWA, WEF, 1998
Carbono Orgânico Total	EMBRAPA
Nitrogênio Total	SMEWW 4500 – N B/C
Fósforo	SMEWW 4500 – P
DBO ₅	APHA, AWWA, WEF, 1998
DQO	APHA, AWWA, WEF, 1998
Potássio	SMEWW 3500K
Ferro	ASTM D 1068 - 03
Chumbo	ASTM D3559 - 08
Alumínio	ASTM D 857 - 07
Coliformes Totais	SMEWW – 9221A
Coliformes	SMEWW – 9221A
Granulometria	DNER-ME080/94

- **Coleta, preservação, preparação e análise das amostras:** Os procedimentos de coleta, preservação, preparação e análise das amostras seguiram as metodologias preconizadas no APHA/AWWA/WEF (1998); ASTM: American Society for Testing and Materials; Embrapa: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Manual de Métodos de Análises de Solo; DNER – ME080/94– Análise Granulométrica por Peneiramento.

Foram realizadas seis coletas nas lagoas de lodo (Figura 23). As referidas coletas foram feitas manualmente (Figuras 24 e 25) e os procedimentos foram realizados de acordo com o que segue abaixo:

- Foram coletadas 4 amostras de lodo da lagoa, em seguida as amostras foram homogeneizadas e armazenadas em 2 garrafas PET's. O procedimento foi utilizado tanto para lagoa 1 quanto para lagoa 2.
- Uma amostra de cada lagoa foi encaminhada ao Laboratório de Saneamento da Universidade da Paraíba para realizar as análises de pH, Umidade, DQO, DBO5, Sólidos Totais, Sólidos Fixos, Sólidos Voláteis, Sólidos Totais Dissolvidos e Solúveis. E as outras amostras para o laboratório do Instituto Tecnológico de Pernambuco (ITEP), onde foram realizadas as análises de Alumínio, Ferro, Chumbo, Potássio, Fósforo, Nitrogênio Total, Carbono Orgânico Total e Coliformes Totais e Termotolerantes.



Figura 23 - Lagoas de lodo da ETA/Gramame.



Figura 24 - Coleta realizada nas lagoas de lodo da ETA/Gramame.



Figura 25- Amostra de lodo coletado nas lagoas de lodo da ETA/Gramame.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As principais características do lodo da lagoa 1 e lagoa 2 da ETA Gramame estão apresentadas nas Tabelas 10 e 11, respectivamente.

Tabela 10 - Características físicas químicas das amostras de lodo da Lagoa 1.

Parâmetros	1ª Coleta Outubro 2009	2ª Coleta Novembro 2009	3ª Coleta Dezembro 2009	4ª Coleta Fevereiro 2010	5ª Coleta Março 2010	6ª Coleta Abril 2010
pH	5,40	5,90	5,30	6,34	6,47	5,80
Umidade (%)	93,69	92,86	96,32	91,15	94,45	93,74
DQO (mg/L)	272,10	289,40	284,70	253,00	289,00	387,60
DBO5 (mg/L)	67,80	74,50	49,10	67,40	64,30	88,10
Sólidos Totais (mg/L)	61.522,28	71.410,51	37.510,27	88.458,38	55.537,12	62.570,96
Sólidos Fixos (mg/L)	42.369,44	64.016,68	37.114,38	50.328	54.717,46	46.588,16
Sólidos Voláteis (mg/L)	19.152,84	7.393,83	395,89	38.130,38	819,66	15.982,80
Fósforo (P) (mg/Kg)	*	*	*	*	628,00	ND
Nitrogênio total (mg/kg)	*	*	*	*	330,00	11.500,00
Carbono Orgânico Total (mg/kg)	*	*	*	*	<4800,0	93.000,00

* não realizado: As análises não foram realizadas devido a problemas técnicos no equipamento do ITEP.

ND: nada detectado

Tabela 11 - Características físicas químicas das amostras de lodo da Lagoa 2.

Parâmetros	1ª Coleta Outubro 2009	2ª Coleta Novembro 2009	3ª Coleta Dezembro 2009	4ª Coleta Fevereiro 2010	5ª Coleta Março 2010	6ª Coleta Abril 2010
pH	5,60	5,70	5,00	6,38	6,50	5,90
Umidade (%)	94,01	94,14	91,73	95,59	93,15	95,60
DQO (mg/L)	249,70	264,10	343,00	213,00	304,00	296,40
DBO5 (mg/L)	52,80	65,80	63,90	49,80	72,90	68,30
Sólidos Totais mg/L	58.411,64	58.581,90	84.403,85	44.131,46	68.531,20	43.950,89
Sólidos Fixos mg/L	43.944,20	37.664,31	36.275,70	27.334,38	67.216,04	31.441,79
Sólidos Voláteis mg/L	14.467,44	20.917,59	48.128,16	16.797,08	1.315,16	12.509,10
Fósforo (P) (mg/kg)	*	*	*	*	246,00	ND
Nitrogênio total (mg/kg)	*	*	*	*	730,00	15.500,00
Carbono Orgânico Total (mg/kg)	*	*	*	*	18.800,00	102.300,00

* não realizado: As análises não foram realizadas devido a problemas técnicos no equipamento do ITEP.

ND: nada detectado

As Tabelas 12 e 13 mostram as concentrações de metais encontrados nas amostras de lodo das duas lagoas.

Tabela 12 - Concentração de metais encontrados nas amostras de lodo da Lagoa 1.

Parâmetros	1ª Coleta Outubro 2009	2ª Coleta Novembro 2009	3ª Coleta Dezembro 2009	4ª Coleta Fevereiro 2010	5ª Coleta Março 2010	6ª Coleta Abril 2010
Al (mg/kg)	72.320,00	95.123,65	74.933,33	83.700,00	71.600,00	69.500,00
Pb (mg/kg)	5,10	6,50	*	5,70	6,00	5,40
Fe (mg/kg)	*	*	245,41	35.700,00	*	*
Potássio (mg/kg)	*	*	*	*	132,00	151,00

* não realizado: As análises não foram realizadas devido a problemas técnicos no equipamento do ITEP.

Tabela 13 - Concentração de metais encontrados nas amostras de lodo da Lagoa 2.

Parâmetros	1ª Coleta Outubro 2009	2ª Coleta Novembro 2009	3ª Coleta Dezembro 2009	4ª Coleta Fevereiro 2010	5ª Coleta Março 2010	6ª Coleta Abril 2010
Al mg/kg	90.236,54	97.856,23	78.666,67	74.800	79.600	81.600
Pb mg/kg	5,30	6,10	*	5,80	5,20	4,30
Fe mg/kg	*	*	294,6	30.300	*	*
Potássio mg/kg	*	*	*	*	138	146

* não realizado: As análises não foram realizadas devido a problemas técnicos no equipamento do ITEP.

As Tabelas 14 e 15 apresentam os teores de coliformes totais e termotolerantes encontrados no lodo das lagoas.

Tabela 14 - Parâmetro Microbiológico (Lagoa 1).

Período	Coliformes Totais (NMP/g)	Coliformes Termotolerantes (NMP/g)
1ª Coleta (Março/2010)	0,52	0,08
2ª Coleta (Abril/2010)	<0,3	<0,3

Tabela 15 - Parâmetro Microbiológico (Lagoa 2).

Período	Coliformes Totais (NMP/g)	Coliformes Termotolerantes (NMP/g)
1ª Coleta (Março/2010)	0,24	0,81
2ª Coleta (Abril/2010)	<0,3	<0,3

De acordo com Richter (2001), o lodo oriundo de decantadores contém um teor de sólidos totais que varia de 1g/L a 40 g/L, ou seja 1.000 mg/L a 40.000 mg/L. Do total de sólidos encontrados, geralmente 75 % a 90 % são sólidos fixos e 20 % a 35 % são sólidos voláteis, que representa a pequena porção biodegradável.

A Figura 26 apresenta os valores de sólidos totais encontrados nas lagoas de lodo, que variaram de 37.510,27 mg/L a 88.458,38 mg/L e valor médio de 62.834,92 mg/L para a lagoa 1 e de 43.950,89 mg/L a 84.403,85 mg/L e valor médio de 59.668,49 mg/L para a lagoa 2, valores estes que estão acima dos valores citados por Richter (2001). Um dos agravantes para

essa alta concentração de sólido é, provavelmente, devido ao longo tempo de detenção que esse lodo se encontra nas lagoas, cerca de 20 anos.

A Figura 27 apresenta os valores encontrados de sólidos fixos. Valores estes que ficaram na faixa de 37.114,28 mg/L a 64.016,68 mg/L e valor médio de 49.189,02 mg/L para a lagoa 1 e de 27.334,38 mg/L a 67.216,04 mg/L e valor médio de 40.646,07 mg/L para a lagoa 2. De acordo com o resultado pode-se observar que do valor médio de sólidos totais encontrados 78,28% e 68,12% são de sólidos fixos, lagoa 1 e 2, respectivamente. O percentual médio encontrado para a lagoa 1 está situado na faixa dos valores citados por Richter (2001). Entretanto, o resultado da lagoa 2 ficou um pouco abaixo dessa faixa, devido a não biodegradação do material orgânico, apesar do longo tempo de detenção na lagoa. Uma explicação provável para que isso tenha ocorrido é devido ao menor tempo em que a lagoa 2, em comparação com a 1, se encontra com o resíduo depositado, uma vez que a lagoa 1 recebe o lodo primeiramente e após ela está preenchida o resíduo que vem dos decantadores é encaminhando para a lagoa 2.

A Figura 28 apresenta os valores de sólidos voláteis encontrados no lodo das lagoas. Os valores médios encontrados foram de 13.645,90 mg/L, lagoa 1 e 19.022,42 mg/L, lagoa 2. De acordo com o resultado constatou-se que do valor médio de sólidos totais encontrados 21,72% e 31,88% são de sólidos voláteis, lagoa 1 e 2, respectivamente. Estando a lagoa 2 com o maior teor de material biodegradável e, conseqüentemente, menor teor de sólidos fixos, como explicado anteriormente. Os valores encontrados estão dentro da faixa dos valores citados por Richter (2001).

Vale ressaltar que os altos teores de sólidos presentes nesses tipos resíduo, quando lançadas em corpos receptores sem o devido tratamento, representam um risco potencial para as plantas, organismos aquáticos e até mesmo para os seres humanos.

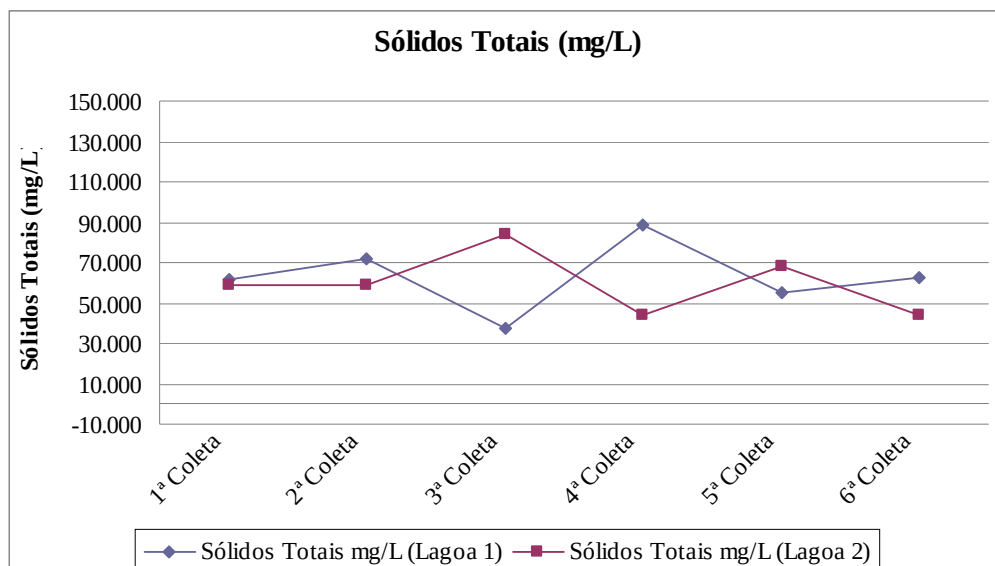


Figura 26 - Valores de sólidos totais encontrados nas amostras de lodo.

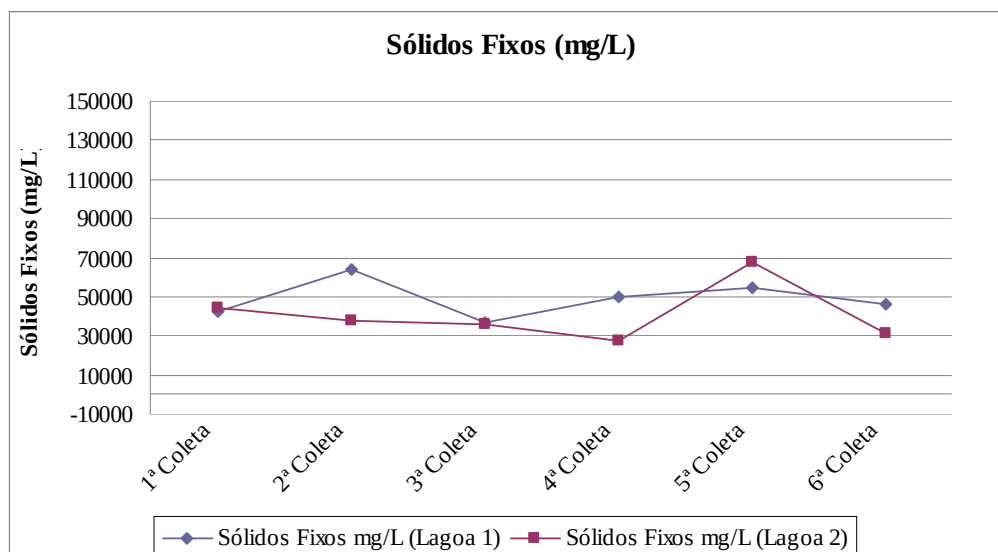


Figura 27 - Percentual de sólidos fixos encontrados nas amostras de lodo.

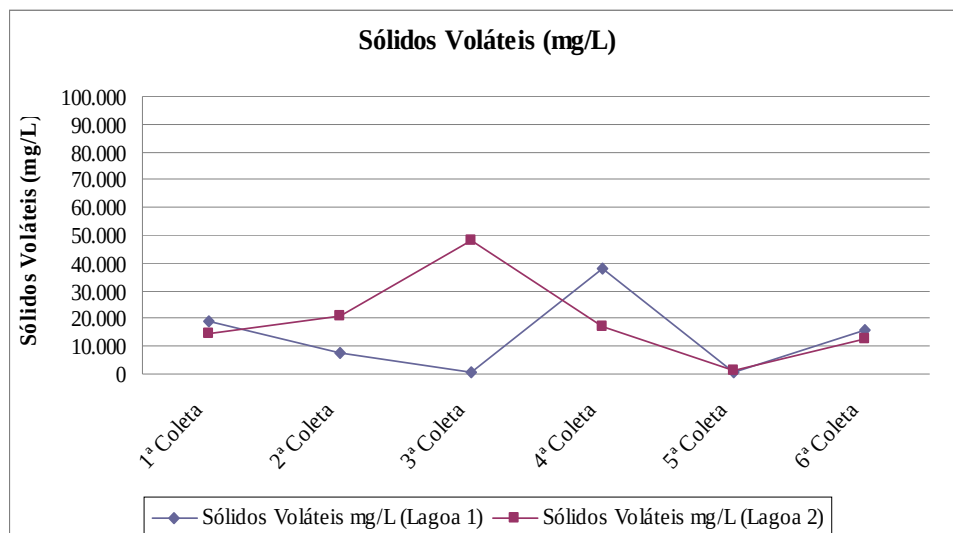


Figura 28 - Percentual de sólidos voláteis encontrados nas amostras de lodo.

De acordo com a Figura 29, os valores obtidos para a DQO variaram de 253,00 mg/L a 387,60 mg/L para o resíduo da lagoa 1 e de 213,00 mg/L a 343,00 mg/L para o resíduo da lagoa 2 ambos os resultados estão de acordo com diversos autores como Richter (2001). Segundo o autor supracitado o lodo de Estação de Tratamento de Água que utiliza como coagulante o sulfato de alumínio apresenta uma maior parcela de material não biodegradável na sua composição.

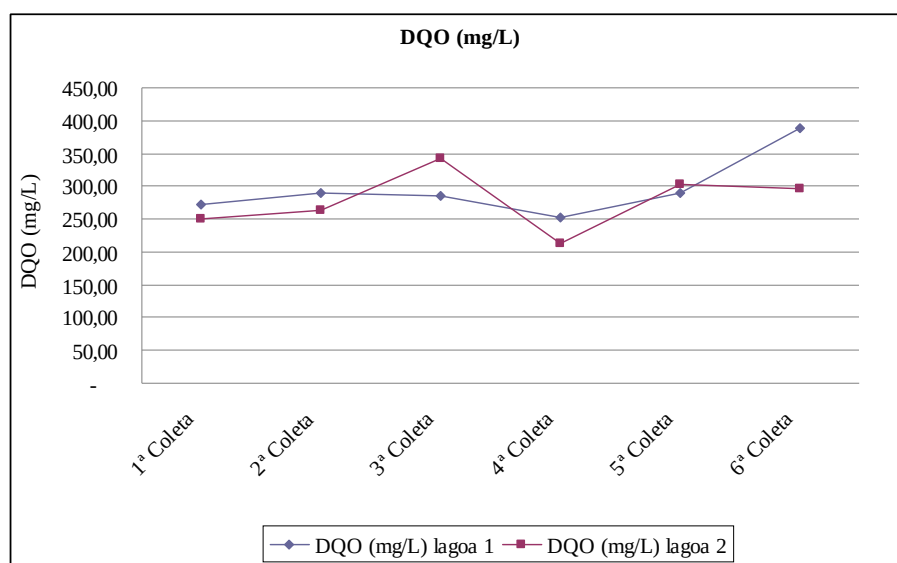


Figura 29 - Valores de DQO encontrados nas amostras de lodo.

A Figura 30, apresenta os valores obtidos para a DBO_5 encontradas nas amostras de lodo das lagoas da ETA/Gramame, os valores obtidos ficaram na faixa de 88,10 mg/L a 49,10 mg/L para a lagoa 1 e de 72,90 mg/L a 49,80 mg/L para a lagoa 2. Os resultados apresentam-se na faixa de valores citados por Richter (2001).

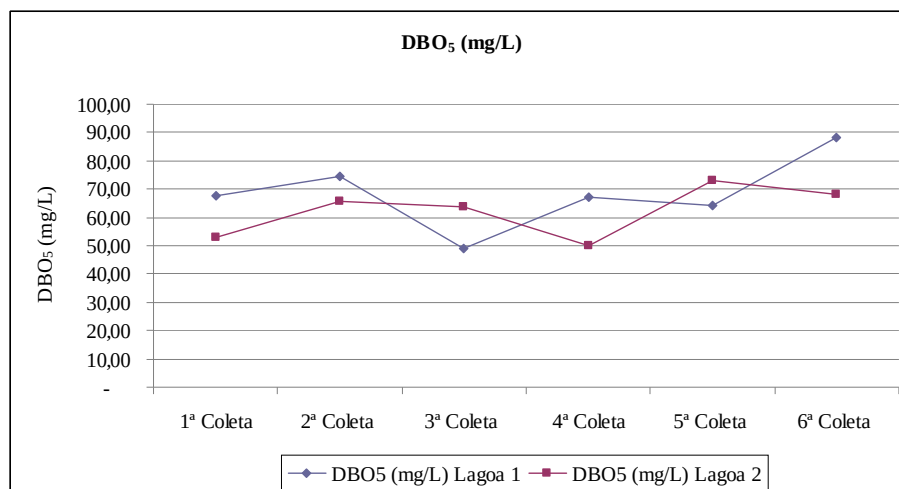


Figura 30 - Valores de DBO_5 encontrados nas amostras de lodo.

A relação DQO/DBO_5 dá uma idéia do tipo de matéria orgânica. A relação DQO/DBO_5 é pouco elevada, quando se encontra na ordem de 2 a 3, quando é maior, indica a predominância de matéria não biodegradável (SOUZA, 1982).

Na Figura 31 pode-se observar a relação entre a DQO e a DBO_5 em todos os períodos amostrados. O valor da relação DQO/DBO_5 foi maior que 3, característicos para resíduos industriais onde há presença de material não biodegradável. De acordo com Von Sperling (1998), a relação DQO/DBO_5 elevada indica a predominância de material não biodegradável no lodo.

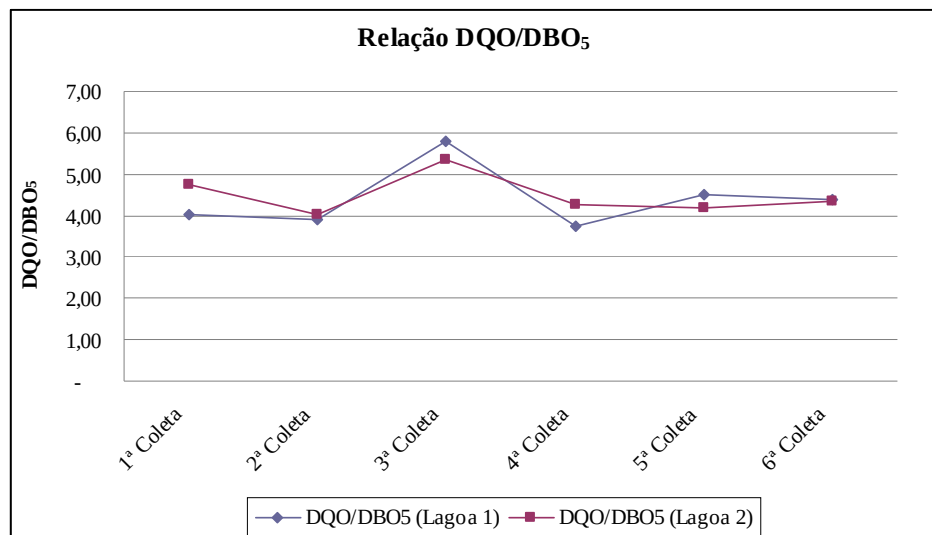


Figura 31 - Relação DQO/DBO₅.

A Figura 32 apresenta os valores de pH obtidos nas coletas realizadas de outubro/2009 a abril/2010 nas duas lagoas, como apresentado, os valores ficaram compreendidos entre 5,30 a 6,47 para lagoa 1 e de 5,00 a 6,50 para lagoa 2, o que é condizente com os valores encontrados na literatura referentes a lodos que utilizam como coagulante o sulfato de alumínio (TEIXEIRA, 1999; MONTGOMERY, 1985 *apud* RICHTER, 2001).

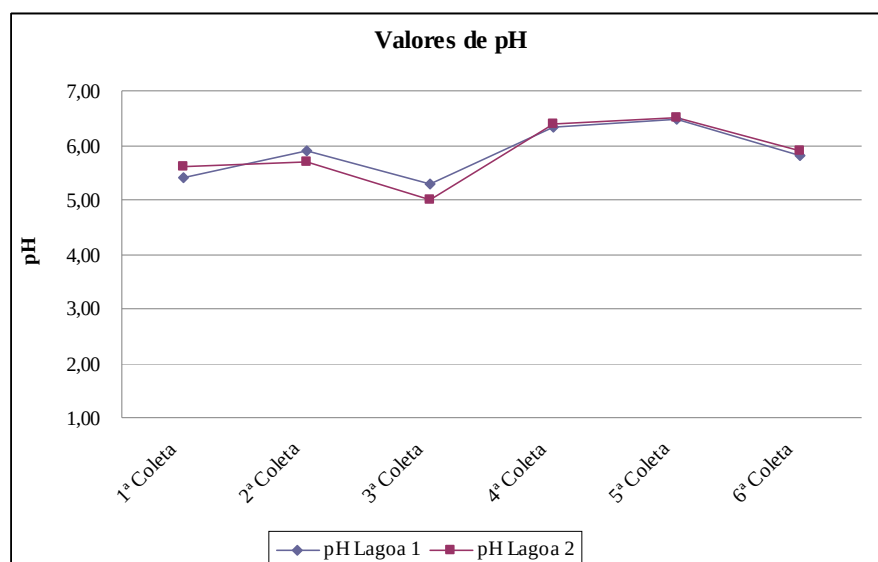


Figura 32 - Valores de pH encontrados nas amostras de lodo.

Os valores médios de umidades obtidos com as amostras de lodo encontradas nas lagoas foram de 92,47% para lagoa 1 e 90,15% para lagoa 2 (Figura 33). Segundo Cordeiro (1999) o teor de umidade de lodo de decantadores de ETA's é, geralmente, maior que 95%, apesar do lodo analisado ser oriundo de decantadores o seu teor de umidade ficou em média abaixo do valor citado pelo referido autor. Isso pode ter ocorrido em decorrência do tempo de retenção que esse lodo se encontra nas lagoas, cerca de 20 anos, e sendo assim com o passar dos anos a umidade desse lodo decresceu.

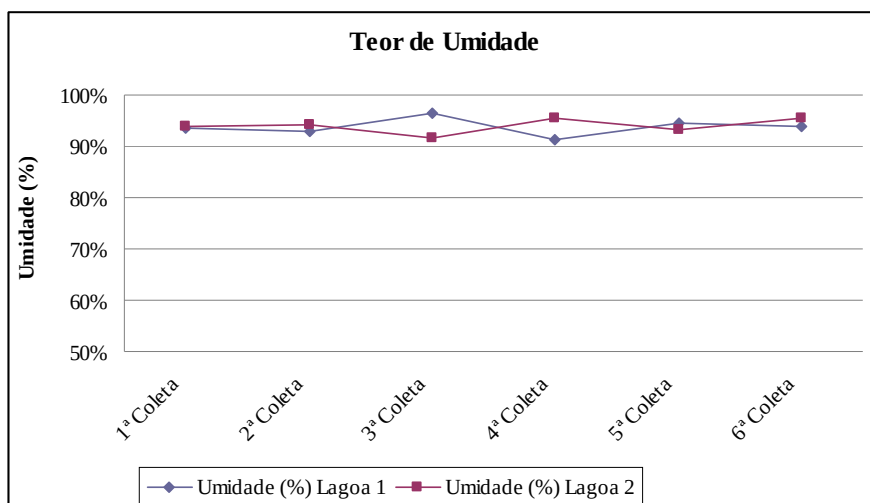


Figura 33 - Umidade encontrada nas amostras de lodo.

Os teores de fósforo encontrado no lodo das lagoas de lodo (Figura 34) foram divergentes, em um mês analisado constatou-se um valor de 628 mg/kg para lagoa 1 e de 246 mg/kg para lagoa 2, sendo estes alto teores. Já no mês subsequente quando foi realizada uma nova análise nada foi detectado em nenhum das amostras de lodo das lagoas.

Faz-se, portanto, necessário realizar mais análises para confirmar se realmente existe alto teor de fósforo, uma vez que em um dos períodos analisado, este nutriente não foi detectado.

A Figura 35 mostra os teores de nitrogênio encontrados nos dois meses analisados. Os valores de nitrogênio obtidos foi de 330 mg/kg para lagoa 1 e de 730 mg/kg para lagoa 2 no primeiro mês, no segundo mês foi de 11500 mg/kg para lagoa 1 e de 15500 mg/kg para lagoa 2, sendo os valores da segunda coleta bem maior do que na primeira.

Como houve uma discrepância muito alta nos resultados das análises de nitrogênio, é imprescindível que se façam novas análises para a confirmação dos valores encontrados.

Os nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, por constituírem-se em complemento nutricional usado pelos organismos aquáticos, são capazes de desencadear o fenômeno da eutrofização, caracterizado pelo crescimento excessivo de plantas aquáticas e proliferação de organismos com predominância de grupos algais, que causam graves consequências para o meio ambiente e à saúde pública.

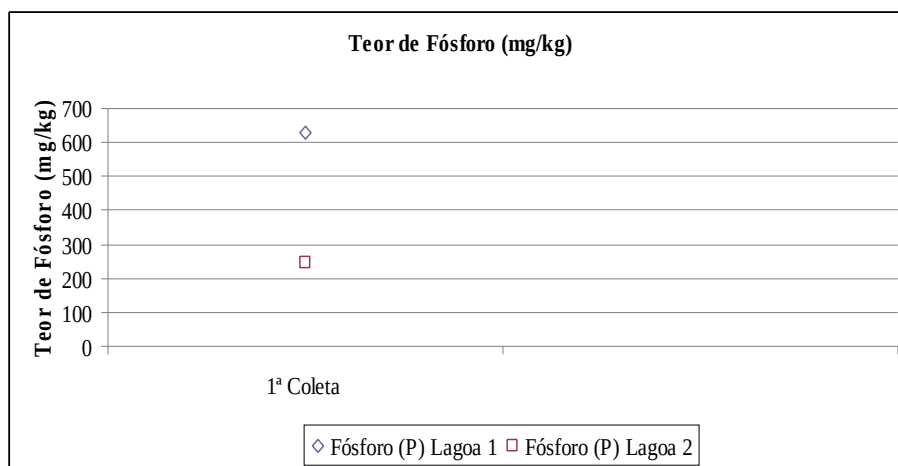


Figura 34 - Valores de fósforo encontrados nas amostras de lodo.

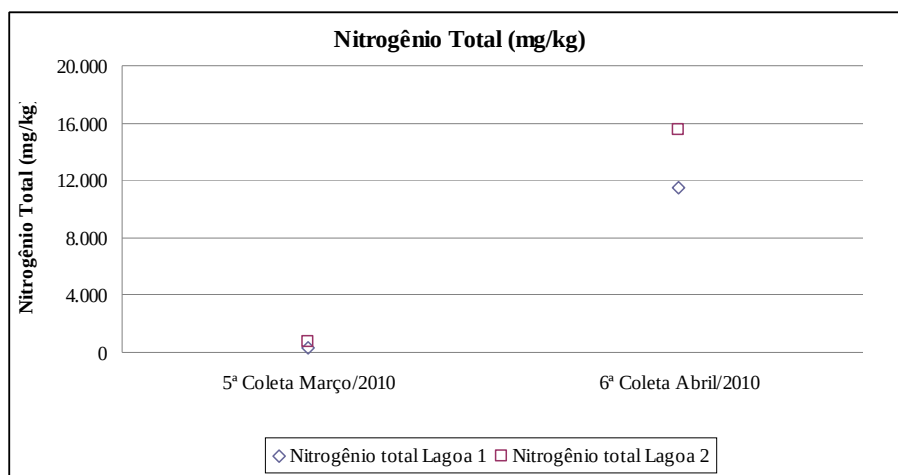


Figura 35 - Valores de nitrogênio encontrados nas amostras de lodo.

Os valores de Carbono Orgânico Total (COT), encontrados nas amostras de lodo estão apresentados na Figura 36. Para a lagoa 1, nas duas coletas analisadas, foi encontrado valores de <4800 mg/kg, primeira coleta e de 93000 mg/kg para a segunda coleta, ou seja variando aproximadamente 0,48 % a 9,3%. No caso da lagoa 2 os valores encontrados foram de 18800 mg/kg, primeira coleta e de 102300 mg/kg para a segunda coleta, aproximadamente 1,88% a

10,23%. Os valores encontrados estão em média acima dos valores encontrados por outros autores uma vez que os lodos de ETA's são predominantemente inorgânicos. Em geral as concentrações de carbono orgânico de ETA's são inferiores a 3% (ARAÚJO, 2006).

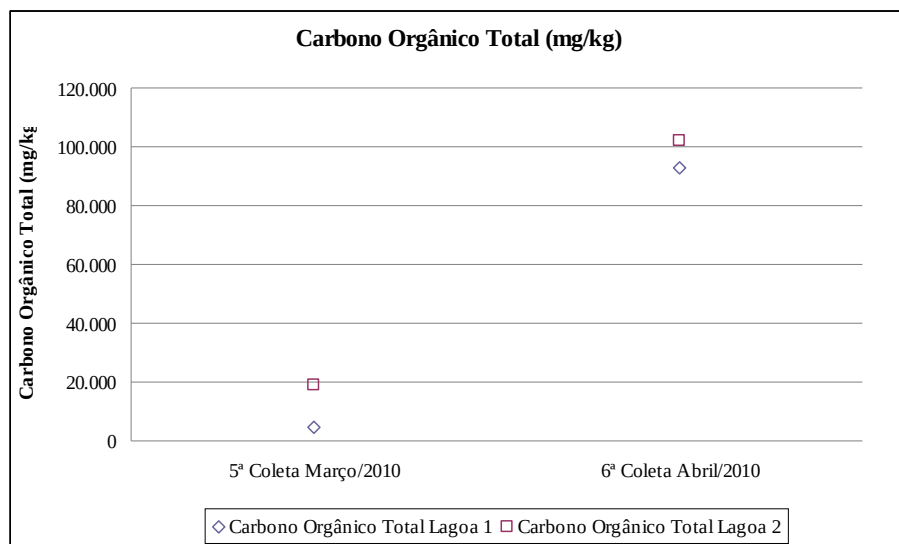


Figura 36 - Valores de COT encontrados nas amostras de lodo.

As Figuras 37, 38, 39 e 40, apresentam as concentrações de metais pesados presente nas amostras de lodos coletados nas lagoas, observou-se que os maiores valores de metais pesados encontrados foi o alumínio devido ao uso do sulfato de alumínio como coagulante no tratamento da água.

Em relação aos teores de metais presentes no lodo das lagoas da ETA Gramame, os maiores índices encontrados foram de Alumínio, Chumbo e Ferro. Sendo os dois últimos acima dos padrões de lançamento exigidos pelo CONAMA, em sua Resolução 357/2005. O Alumínio, embora não citado pela referida resolução, merece especial atenção por apresentar as maiores concentrações. Os metais em especial o alumínio proveniente de ETA's, segundo Barroso e Cordeiro (2001), possuem ações tóxicas, podendo apresentar efeitos positivos ou negativos nas técnicas de tratamento, disposição final e, até mesmo, na reutilização destes resíduos.

A presença desses contaminantes no lodo deve-se ao uso de coagulantes primários que os tenham em sua composição e de outros produtos químicos utilizados no tratamento da água. As características das águas utilizadas como mananciais também influencia nas concentrações finais.

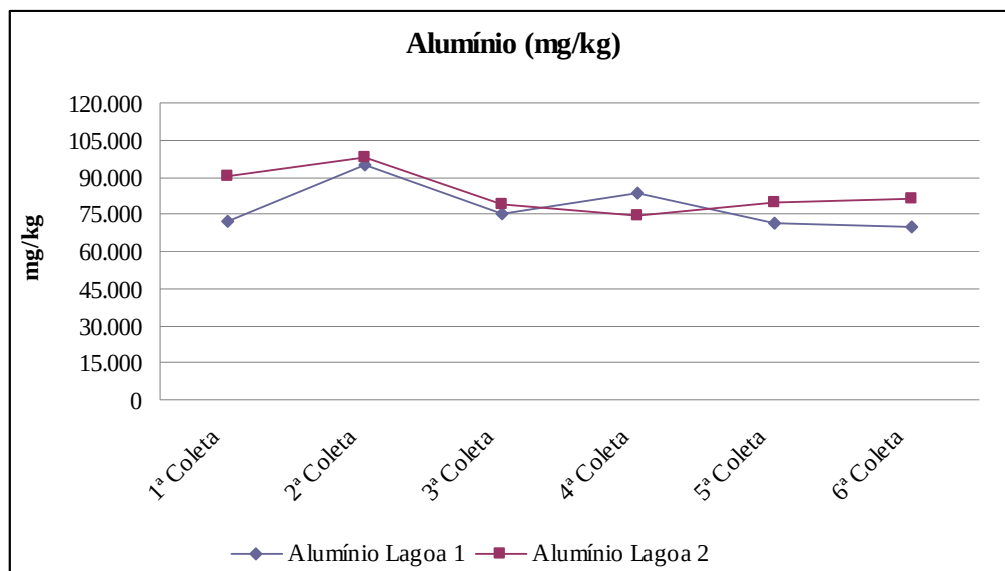


Figura 37 - Valores de alumínio encontrados nas amostras de lodo.

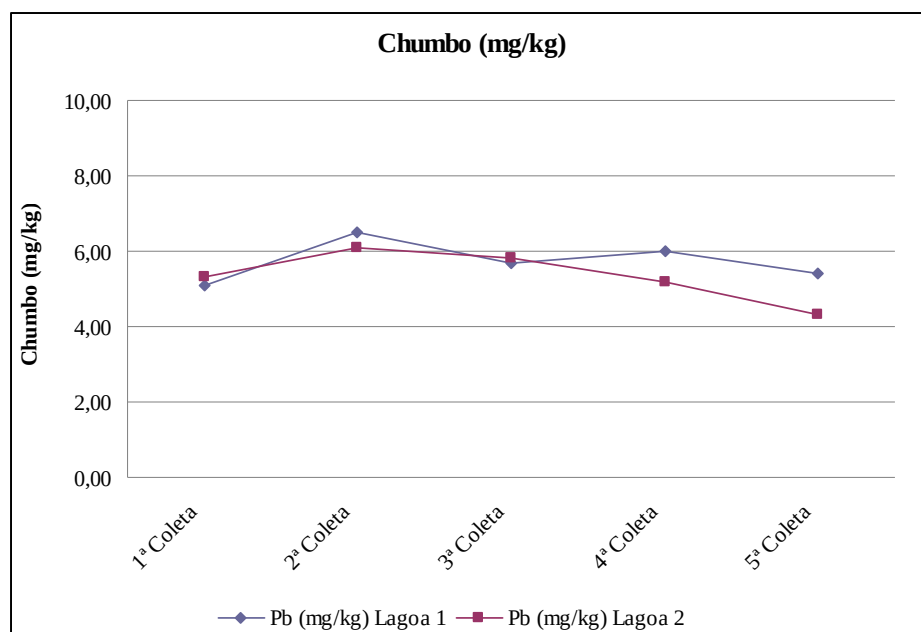


Figura 38 - Valores de chumbo encontrados nas amostras de lodo.

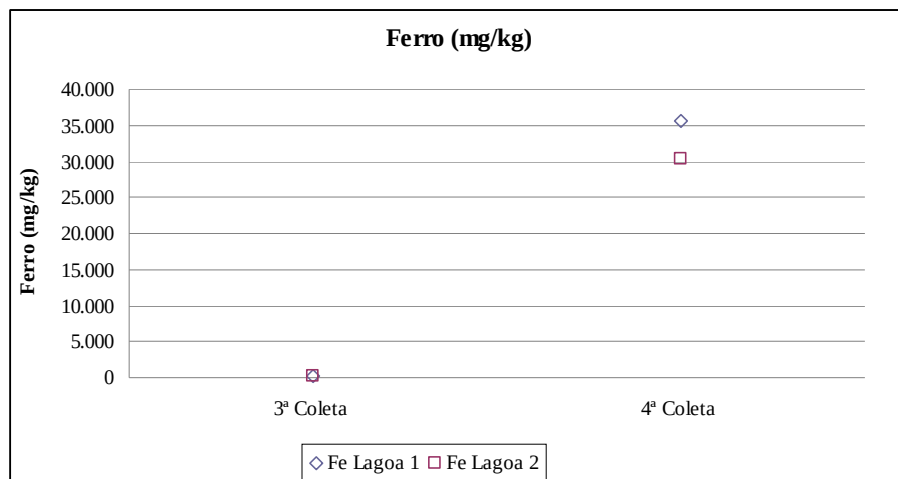


Figura 39 - Valores de ferro encontrados nas amostras de lodo.

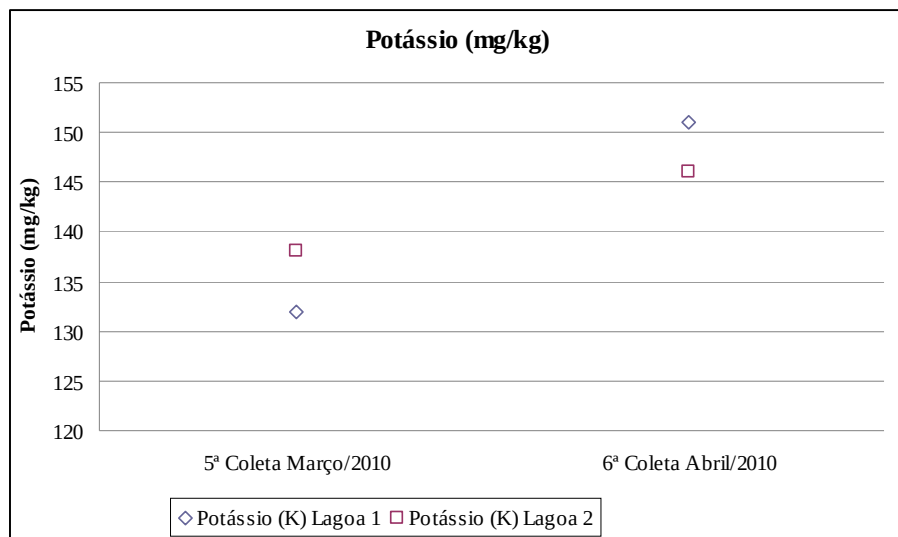


Figura 40 - Valores de potássio encontrados nas amostras de lodo.

As bactérias do grupo coliformes têm sido úteis para medir a ocorrência e grau de poluição fecal. Por outro lado, os coliformes termotolerantes são um sub-grupo destas bactérias que permite uma correlação direta de contaminação fecal. Que é um importante indicador de contaminação de organismos patogênicos

De acordo com Siqueira (1995) o índice de coliformes totais avalia as condições higiênicas e o de coliformes termotolerante é empregado como indicador de contaminação fecal e avalia as condições higiênico-sanitárias deficientes.

As Figuras 41 e 42 indicam os teores de coliformes totais e termotolerantes, respectivamente. Para a lagoa 1 os valores encontrados de coliformes totais foram de 52

NMP/100g e de <0,3 NMP/100g e para lagoa 2 foi de $2,4 \times 10^3$ NMP/100g e <0,3 NMP/100g. Apresentando uma pequena parcela de matéria orgânica decomposta.

Os valores de coliformes termotolerantes foram de 8 NMP/100g e <0,3 NMP/100g para a lagoa 1 e de 81 NMP/100g e < 0,3 NMP/100g para lagoa 2. Os valores encontrados representam uma pequena contaminação de organismos patogênicos, presente no lodo.

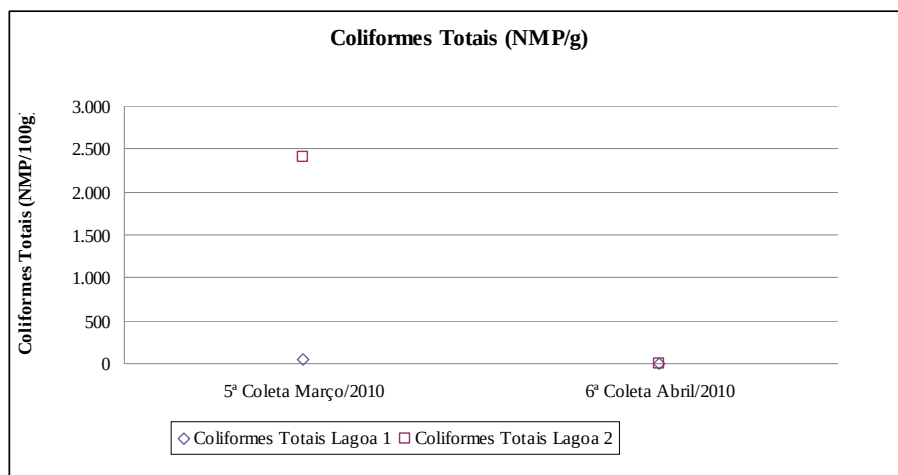


Figura 41 - Valores de coliformes totais encontrados nas amostras de lodo.

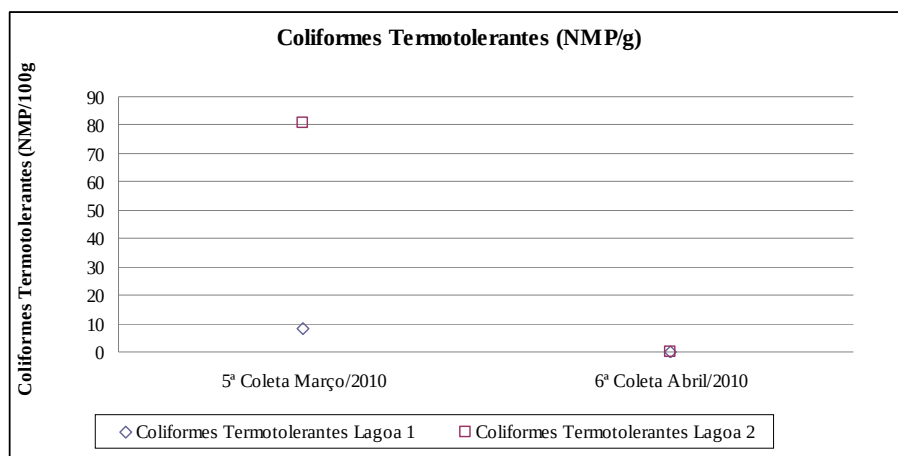


Figura 42 - Valores de coliformes termotolerantes encontrados nas amostras de lodo.

A partir da análise de granulométrica realizada no lodo foi detectado um material com características de areia grossa, em ambos os resultados apresentados tanto para o lodo da lagoa 1 quanto para o lodo da lagoa 2 (Figura 43). Segundo a NBR 7181/88, a fração de argila+silte encontrado no resíduo correspondeu a 6%; areia fina 7,33%; areia grossa 67,73% e pedregulho 18,94%, para a lagoa 1, no caso da lagoa 2 os resultados obtidos foram: 5,16%

de argila+silte; 9,93% de areia fina; 62,11% de areia grossa e 22,80% de pedregulho. Usualmente, o lodo de ETA's apresenta características de materiais argiloso o que não foi comprovado com o lodo das lagoas de lodo da ETA Gramame. Vale salientar que o lodo das lagoas se encontram depositado cerca de 20 anos, podendo ser este um dos motivos das características encontrados na análise do lodo.

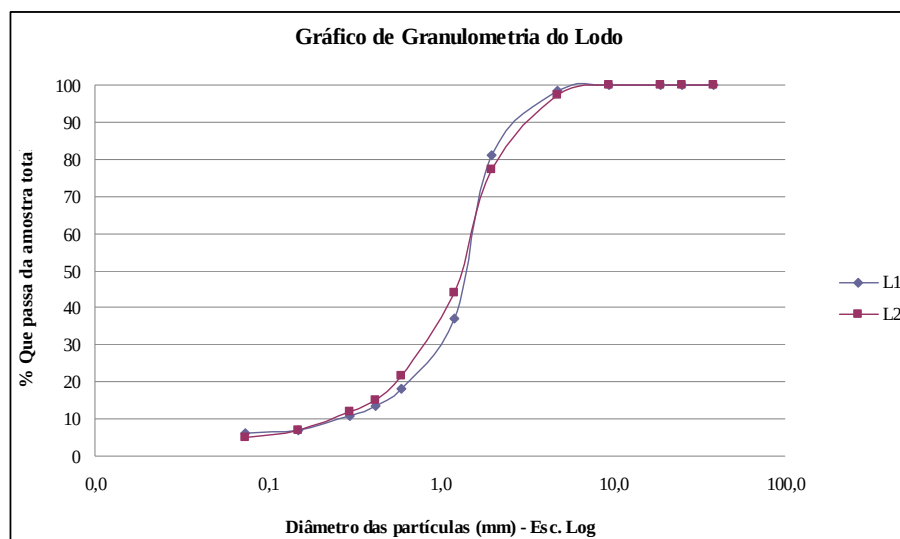


Figura 43 - Gráfico da análise granulométrica do lodo das lagoas 1e 2.

6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos nos experimentos realizados no resíduo (lodo) depositado nas lagoas de lodo da Estação de Tratamento de Água de Gramame, localizadas no município do Conde no Estado da Paraíba, conclui-se que:

- Os lodos das lagoas apresentaram um alto teor médio de sólidos, descartando a possibilidade do descarte em corpos receptores uma vez que não se enquadram nos padrões de lançamento exigidos pelas normas vigentes. Salientando ainda a forte contribuição que esse tipo de resíduo exerce na degradação do meio ambiente.
- O lodo estudado apresentou valores expressivos de teor de alumínio indicando assim a possibilidade de recuperação de coagulante. Não deixando de enfatizar a necessidade de maiores estudos para se avaliar a viabilidade econômica desse resíduo.
- Como análise granulométrica realizado no lodo das lagoas não apresentou características de material argiloso, mas sim de um material com características de areia grossa, descartou-se a possibilidade do uso do lodo em materiais, como no caso das cerâmicas vermelhas e argamassa de concreto.
- No lodo estudado foram encontrados valores médios de sólidos de 6,28%, lagoa 1 e de 5,97% lagoa 2. Dentro da faixa indicada por Richter, onde o mesmo indica um teor de sólidos entre 1% a 15% como critério básico para disposição no solo. Vale ressaltar que deve ser realizada pesquisa no solo que irá receber o lodo para avaliar a capacidade de assimilação desse lodo uma vez que o lodo analisado possui um teor considerado de alumínio.
- O lodo estudado se encontra na faixa permitida de teor de sólidos (inferior a 25%) para a disposição em aterro municipal, porém deve ser fazer uma avaliação dos custos do transporte do lodo área onde vai ser lançado, uma vez que esse fator pode vir a limitar esse tipo de disposição em decorrência do alto custo.
- Para o lodo seco resultante, uma alternativa atrativa é a disposição em um aterro exclusivo para a estação. Essa opção eliminaria os custos de transporte da torta final para

outros pontos de disposição. Levando-se em consideração que quando a ETA Gramame estiver operando com a sua nova etapa o lodo que está sendo gerado hoje será duplicado, sendo desta forma um aterro exclusivo uma forma de disposição. Vale ressaltar que se deve considerar, obviamente, a necessidade de levantamento dos custos e de área disponível para a disposição desse resíduo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004**. Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7181**. Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1988.

ADLER, E. **Management of wastes from drinking water treatment**. International Conference, Organised by The Chartered Institution of Water and Environmental Management, London, September 2002.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - **AWWA**. Water treatment plant waste management. Denver (Co): AWWA Research Foundation, 1987.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 20ª edição, Washington, E.U.A. (1999).

ARAÚJO, A. P. M. de. **Avaliação Operacional e Características do Lodo Gerado na Indústria da Água do Litoral sul de Pernambuco**. Recife, 2006. 133 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2006.

ASADA, L. N.. **Avaliação do recebimento do lodo de estação de tratamento de água em um sistema de tratamento de esgoto pelo processo de lodo ativado com areação prolongada**. São Paulo, 2007. 189 f. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

AZEVEDO NETO, J. M.; RICHTER, C. **Tratamento de água**. São Paulo: Edgard Blucher, 1998. 332 f.

BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Problemática dos Metais nos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001. 1 CD-ROM.

BARBOSA, R.M. **Avaliação do impacto de lodos de estações de tratamento de água à biota aquática através de estudos ecotoxicológicos.** São Carlos, 2000. 200 f. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

BIDONE, F. R. A. **Resíduos Sólidos Provenientes de Coletas Especiais: Eliminação e Valorização.** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES/RJ, 2001.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário oficial da união**, Brasília, 16p.

BRASIL, Lei nº- 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário oficial da união**, Brasília, 5p.

CAGEPA - Companhia de Água e Esgoto da Paraíba. SISTEMA GRAMAME. Projeto de Ampliação do Abastecimento D'água de João Pessoa. **Memória Descritiva**, Recife, 1985.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA (Brasil). **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005. Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas segundo o seu uso preponderante.

CORDEIRO, J.S. Remoção Natural de Água de Lodos de ETAs Utilizando Leitos de Secagem e Lagoas de Lodo, Rio de Janeiro: **ABES**, 250p. 1999.

CORDEIRO, J. S. **O problema dos lodos gerados nos decantadores em estações de tratamento de água.** 1993. 342 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos- Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

CORDEIRO, J. S. **Gerenciamento de lodos de ETAs: Remoção de água através de leitos de secagem e codisposição da fase sólida em matrizes de cimento e resíduos da construção civil.** São Carlos: UFSCar/FINEP, 2000. 145 f.

DERMATTOS, M. et al. Redução do volume de lodo gerado em estações de tratamento de água - A proposta de recuperação do coagulante pelo processo de acidificação no sistema Manso. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Paraíba, 2001. **Anais...** ABES: João Pessoa. 2001.

DI BERNARDO, L.; SCALIZE, P. S.; SOUZA FILHO, A. G. Água de lavagem de filtros rápidos. In: **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água.**

DI BERNARDO, L. Tecnologias de tratamento de agua com filtracion rapida. In: **Seminário Internacional sobre Selecion de Tecnologia para el Mejoramento de La Calidad Del Agua.** 2000. Santiago de Cali, Peru.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.** São Carlos: RiMa, 2002. 237 f.

DI BERNARDO, L. Filtração direta ascendente. In: **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta.** 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. 480p.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** 2. ed. São Carlos: RiMa, 2005. 1 v. 792 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, **Manual de Métodos de Análise de Solo.**

FERREIRA FILHO, S. S.; ALÉM SOBRINHO, P. **Considerações sobre o tratamento de despejos líquidos gerados em estações de tratamento de água.** Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 3, n. 3, Jul/Set. e n. 4, out/dez. 1998. p. 128-136.

FILHO, C. F. M. **Noções sobre tratamento de água.** Disponível: <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/> Acesso em: fevereiro de 2010.

GONÇALVES, R. F.; BRANDÃO, J. T.; BARRETO, E. M. S. Viabilidade econômica da regeneração do sulfato de alumínio de lodos de estações de tratamento de águas. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, 1999. **Anais...** ABES: Rio de Janeiro. 1999.

GRANDIN, S. R.; ALEM SOBRINHO, P.; GARCIA JR., A. D. Desidratação de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Água. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 17., 1993, Natal. **Anais...** Natal: ABES, 1993. v.2, p. 324-341.

HALL, W.S. & HALL, L.W., Jr (1989). **Toxicity of alum sludge to Ceriodaphnia dubia and Pimephales promelas. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v.42, p.791-798.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Departamento de População e Indicadores Sociais**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. 431 f.

JANUÁRIO, G. F. **Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos de estações de tratamento de água da região metropolitana de São Paulo**, 2005. 222 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

KAWAMOTO, P. H.; FERREIRA FILHO, S. S. Efeito da oxidação química no processo de condicionamento e desidratação de lodos de estações de tratamento. In: IX Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – SILUBESA, **Anais...** Porto Seguro, 1999.

KAWAMURA, S. **Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities**. John Wiley & Sons, Inc., New York, E.U.A., 691f. 2000.

MENESES, A.C.L.S.M. **Presença de alumínio no efluente descartável gerado numa estação de tratamento de água e suas implicações na qualidade da água do corpo receptor**, 2005. 110f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

METCALF, C. **Ingeniería sanitaria: tratamiento, evacuación y reutilización de águas residuales**. 2ª ed. Editorial Labor S.A. Barcelona. 1985.

PAULSRUD, B.; STORHAUG, R.; HEM L. J. Management of Wastes from Drinking Water Treatment in Norway. In: Management of Wastes from Drinking Water Treatment. **The Chartered Institution of Water and Environmental Management**. London, UK., 2002.

QUEIROZ, J. E.; LIMA, J. S.; KORN, M. G.. **Efeito do uso do composto selecionado e não selecionado, provenientes de lixo urbano, no teor de metais pesados e na produção de biomassa na cultura do milho**. Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 5, n. 1, p.59-67, 2000.

REALI, M.A.P. Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETAs. In: **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**, Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 21-39.

RICHTER, C. A.. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. São Paulo: **Edgard Blucher**. 2001. 102 f.

SABBAG, M. G., MORITA, D. M., **Incorporação de lodo de Estação de Tratamento de Água em Blocos Cerâmicos**. 2002.

SABOGAL-PAZ, L. P.; DI BERNARDO, L. Aspectos conceituais relativos à seleção das tecnologias de tratamento e de disposição dos resíduos gerados nas estações de tratamento de água. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Mato Grosso, 2005. **Anais...** ABES: Campo Grande. 2005.

SALES, A.; CORDEIRO, J. S. Imobilização da fase sólida de lodo de estações de tratamento de água (ETAs). In: **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**, ABES, 2001. p. 245-257.

SEANS, M. L. et al. Avaliação do desempenho de diferentes tipos de coagulantes empregados no tratamento de água para abastecimento público em relação ao volume de lodo gerado na sedimentação. In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville, 2003. **Anais...** Joinville: ABES, 2003.

SIQUEIRA, R.S. **Manual de microbiologia de alimentos**. Brasília: EMBRAPA, 1995. 159p.

SIMPSON, A.; BURGESS, P.; COLEMAN, J. The management of potable water treatment sludge: present situation in the UK. **In: Management of wastes from drinking water treatment, International Conference, Organised by The Chartered Institution of Water and Environmental Management**, London, September 2002.

SILVA, A. P. da; BIDONE, F. R. A.; MARQUES, D. M. L da 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: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária, XXVII., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: AIDIS, 2000.

SMOLLEN, M.; KAFAAR, A. **Electroosmotically enhanced sludge dewatering: Pilot-Plant Study**. Water Science Technology. v. 30, n.8, pp. 159-168, 1994.

SOUZA, M. E. Problemática da digestão anaeróbia dos resíduos industriais. São Paulo: CETESB, 1982. 35p. Trabalho apresentado no I Simpósio Latino-Americano sobre produção de biogás a partir de resíduos orgânicos. **Anais...** São Paulo, 6-17 de dezembro de 1982.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG/DESA: Bloch, 1998. 243 p.

TEIXEIRA, Sandra Tereza; MELO, Warderley José de; SILVA, Érica Tomé. **Aplicação do Lodo da Estação de Tratamento de Água em Solo Degradado**. Jaboticabal, 2005. Universidade Estadual Paulista, Departamento de Tecnologia.

TEIXEIRA, L.C.G.M. **Adensamento por gravidade de lodos produzidos em estações de tratamento de água**. São Paulo, 1999. 195p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

TSUTIYA. M. T.; HIRATA, A. Y. Aproveitamento e disposição final de lodos de estações e tratamento de água do Estado de São Paulo. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Paraíba, 2001. **Anais...** ABES: João Pessoa. 2001.

VICORY, A.H. & WEAVER, L. (1984). Controlling discharges of water plant wastes to the Ohio River. **Journal of American Water Works Association**, v.76, n.4, p.122-125.

VON SPERLING, M. (1998). Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d'água e de lançamentos de efluentes. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos-RBRH**. Porto Alegre, v. 3,n. 1, p. 111-132, jan./mar.