



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

BEATRIZ NASCIMENTO VINHÁTICO LIGER

AVALIAÇÃO DA DISPOSIÇÃO DO LODO GERADO NA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA ETA-PIAUITINGA

São Cristóvão, SE

2016

BEATRIZ NASCIMENTO VINHÁTICO LIGER

AVALIAÇÃO DA DISPOSIÇÃO DO LODO GERADO NA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA ETA-PIAUITINGA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, da Universidade Federal de Sergipe, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Drº. Bruno Santos Souza

São Cristóvão, SE

2016

BEATRIZ NASCIMENTO VINHÁTICO LIGER

AVALIAÇÃO DA DISPOSIÇÃO DO LODO GERADO NA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA ETA-PIAUITINGA

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) submetido e aprovado pela banca examinadora, e pelo Departamento de Engenharia Ambiental (DEAM) da Universidade Federal de Sergipe (UFS) em 2016, como pré-requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Bruno Santos Souza - Orientador

Universidade Federal de Sergipe – CCET/DEAM

Prof. Dr. José Jailton Marques

Universidade Federal de Sergipe – CCET/DEAM

Prof. Dr. Joel Alonso Palomino Romero

Universidade Federal de Sergipe – CCET/DEAM

É concedida à Universidade Federal de Sergipe permissão para reproduzir cópias desta monografia e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho acadêmico pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Beatriz Nascimento Vinhático Liger

LIGER, Beatriz Nascimento Vinhático.

AVALIAÇÃO DA DISPOSIÇÃO DO LODO GERADO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA ETA-PIAUITINGA/ Beatriz Nascimento Vinhático Liger

São Cristóvão, 2016

67 p.: il.

Trabalho Acadêmico Orientado. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

I. Universidade Federal de Sergipe/Sergipe. CCET/DEAM. II. Título.

RESUMO

Durante a potabilização da água para abastecimento público são gerados resíduos (lodos) nas Estações de Tratamento de Água (ETAs), os mesmos tem características que são nocivas ao meio ambiente e devem ser tratados e dispostos corretamente. No Brasil, ainda é incipiente a preocupação com a gestão de resíduos gerados em uma ETA, onde a grande maioria das ETAs lançam seus resíduos em corpos hídricos sem qualquer tratamento, levando a sérios problemas como assoreamento dos corpos hídricos, alteração da qualidade da água, aumento da concentração de metais e de sólidos, entre outras consequências. O presente trabalho teve como objetivo quantificar o lodo gerado na ETA-Piauitinga, localizado em Salgado, município de Sergipe, bem como caracterizar qualitativamente o lodo e identificar os possíveis tratamentos e disposição final para esses resíduos. Os resultados obtidos neste estudo demonstram que os resíduos gerados na ETA são nocivos ao meio ambiente, e o seu lançamento *in natura* sem tratamento prévio acarretará consequências ao Rio Piauitinga.

PALAVRAS-CHAVE: quantificação de lodo, tratamento de lodo, disposição final de lodo, resíduos de ETA.

ABSTRACT

In the water purification for public supply, some residues (sludge) are generated at the Water Treatment Plants (well know min Brazil as ETA). By the way, they have characteristics that are harmful to the environment and must be treated and disposed correctly. In Brazil, there is still a concern about the management of residues generated in an ETA, since most of ETAs release them into water bodies without any treatment, leading it to serious problems, such as: silting of water bodies, water quality changes, increase of metals and solids concentration, and so on. The objective of this study was to quantify of sludge generated at ETA-Piauitinga, located in Salgado, city of Sergipe, as well as characterize qualitatively the sludge, identifying the possible treatments and final disposition to the residues. The results obtained in this study demonstrate that the waste generated in ETA is harmful to the environment, and its release without a pre-treatment will bring several consequences to the Piauitinga River.

KEYWORDS: sludge quantification, sludge treatment, sludge final disposition ETA wastes.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVO	12
2.1	OBJETIVO GERAL	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	13
3.1.1	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE CICLO COMPLETO	13
3.1.2	OUTROS TIPOS DE PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	16
3.2	ORIGEM E CARACTERÍSTICAS DO LODO GERADO EM ETAS	17
3.2.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E BIOLÓGICAS DOS RESÍDUOS FORMADOS EM UMA ETA	22
3.3	IMPACTOS PROVOCADOS PELA DISPOSIÇÃO INADEQUADA DO LODO DAS ETAS	23
3.4	MÉTODOS DE TRATAMENTO DE LODO DE ETAS	25
3.4.1	EQUALIZAÇÃO E REGULARIZAÇÃO DE VAZÃO	25
3.4.2	CONDICIONAMENTO	26
3.4.3	ADENSAMENTO	26
3.4.4	DESAGUAMENTO	27
3.5	APROVEITAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE LODO DE ETAS	29
3.6	QUANTIFICAÇÃO DE LODO EM PROJETOS DE ETAS EXISTENTES.....	34
4	METODOLOGIA.....	38
4.1	GENERALIDADES	38
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	38
4.3	RIO PIAUITINGA	42
4.4	DESCRIÇÃO DO PROCESSO DA ETA-PIAUITINGA.....	42
4.5	MONITORAMENTO DA ETA-PIAUITINGA.....	47
4.6	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS NO TRATAMENTO	47
5	RESULTADOS	50

5.1	ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE SÓLIDOS	50
5.2	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DA ETA-PIAUITINGA	51
5.2.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DOS FILTROS	51
5.2.2	CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE DECANTADOR	52
5.3	ALTERNATIVAS DE USOS DOS RESÍDUOS DA ETA-PIAUITINGA.....	54
6	CONCLUSÕES	61
7	REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento da população e do consumo de água, o mundo vem enfrentando nos últimos anos um sério desafio para satisfazer as demandas quantitativas e qualitativas de água para as atividades humanas. Sabe-se que a água é um elemento indispensável à vida, não somente para consumo humano, mas para todas as atividades que envolvam direta ou indiretamente o seu uso, como limpeza, higiene pessoal, recreação, utilização em indústrias e na geração de energia. Porém, sua disponibilidade para o acesso direto ao homem é cada vez menor.

Não restam dúvidas de que os recursos hídricos estão sendo pressionados pelo grande aumento da população, que em consequência faz com que os setores de agricultura e energia produzam cada vez mais para suprir suas necessidades, o que provoca indiretamente um maior consumo de água por estes dois últimos. Sendo assim, espera-se que ocorra um aumento em torno de 55% até 2050 na demanda de água levando um bilhão de pessoas a viverem em cidades sem água suficiente (UNESCO, 2015).

Segundo estimativas realizadas em estudo pela UNESCO (2015), 10,3% da população mundial ainda não tem acesso à água potável de qualidade e os mais afetados são as populações de baixa renda, isso ocorre devido ao grande custo de produção de água potável.

De acordo com a Moura (2016), o volume total de água na Terra é de 1,4 bilhões de km³, porém a água doce é representada por apenas 2,5 % desse valor (35 milhões de km³). Desse percentual de água doce, aproximadamente 70% estão congeladas em lugares de difícil acesso, como nas calotas polares do Ártico e Antártida e em topos de montanhas, e 30% corresponde a água subterrânea, de forma que somente 0,3 % de toda água está disponível em lagos e rios e suscetíveis as ações de agentes poluidores.

Entretanto, para agravar o cenário verifica-se que a água doce disponível não está distribuída uniformemente pelo mundo, de forma que um continente possui maior disponibilidade hídrica que o outro, sendo a América do Sul um dos subcontinentes a terem maior disponibilidade hídrica do mundo, ficando atrás apenas da Ásia. No Brasil, encontra-se a maior reserva de água doce do mundo, com destaque para a Bacia do rio Amazonas que detém 12% da água doce do planeta. Contudo, essa disponibilidade também está mal

distribuída entre as regiões do país, sendo possível identificar grandes contrastes, como o Norte com uma menor concentração populacional e uma maior disponibilidade hídrica, e o oposto para a região Sudeste. Além da pouca e da má distribuição da água, o crescente aumento da deterioração da qualidade das águas das fontes de abastecimento dificultam o tratamento da água que é destinada para o consumo humano (DI BERNARDO e PAZ, 2008a).

Para a potabilização da água para fins de consumo humano, é necessária a realização de um conjunto de operações para adequá-la aos limites físicos, químicos, biológicos e radioativos definidos pela legislação brasileira. Essas operações são realizadas em estações de tratamento de água - ETAs, que, por sua vez, desempenham um papel importante para a sociedade oferecendo água de boa qualidade para os mais diversos usos, garantindo assim a saúde e bem estar da população.

No Brasil, a qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade é estabelecida pelo Ministério da saúde através da Portaria nº 2.914 (BRASIL, 2011), sendo o próprio ministério da saúde o responsável pelo controle e vigilância do cumprimento da legislação, portanto, as ETAs devem obedecer rigorosamente aos parâmetros dispostos na legislação.

A fim de atender os critérios dispostos na legislação, as ETAs são projetadas para remover da água bruta partículas suspensas e coloidais, matéria orgânica, microrganismos e outras substâncias que sejam nocivas à saúde humana, além de adições de substâncias que objetivam a proteção dentária e resguardar a tubulação contra possíveis incrustações. Para isso, devem ser aplicados produtos químicos e uma sequência de processos físicos que acabam resultando na geração de resíduos líquidos e sólidos de composição variada, cuja disposição final requer cuidados. Esses resíduos são provenientes da massa decantada formada na etapa de coagulação/floculação e também encontrada na etapa de filtração oriunda da operação de lavagem dos meios filtrantes (ANDREOLI, 2006; LIBÂNIO, 2010).

A maior parte dos resíduos gerados nas ETAs é o lodo proveniente da lavagem dos filtros e descargas dos decantadores. A NBR 10.004, que trata da classificação dos resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, classifica o lodo proveniente das ETAs como “resíduo sólido”, portanto devem ser tratados e dispostos de forma ambientalmente correta, conforme exigências dos órgãos ambientais. Através de pesquisas realizadas no Brasil, pode-se classificar o lodo de ETA como classe II A - não perigoso - não inerte, conforme classificação da NBR-10.004/2004 (Siqueira, 2004;

Silva *et al.* 1999a, Santos *et al.*, 1999 apud DI BERNARDO e Paz, 2008). Ainda de acordo com a NBR 10.004 (2004), os resíduos considerados como classe II A - não inertes são aqueles que podem ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água (BRASIL, 2004). Na maior parte dos casos, os resíduos das estações de tratamento de água (RETAS) são lançados de forma inadequada em corpos d'água próximos às estações de tratamento ou na rede coletora de esgoto (DI BERNARDO, 2003).

Sabe-se, através da lei 9.433 (1997), que institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos – PNRH, que é necessária a concessão de outorga para o lançamento de resíduos em corpos d'água e o seu lançamento irregular é considerado um crime ambiental e é passível de punição civil, administrativa e criminal, de acordo com a lei nº 9605 (1988), lei dos crimes ambientais.

Segundo Andreoli (2006), estima-se que 70% das ETAs brasileiras lançam o lodo gerado na estação diretamente em cursos d'água mais próximos, podendo chegar a uma carga de cerca de 2000 ton/dia. Esse descarte inadequado pode provocar alterações das características das águas do corpo receptor, acarretando problemas para o mesmo, como: alterações de cor, turbidez e composição química; aumento da concentração de metais tóxicos; aumento da concentração de SST, o que limita a luminosidade do meio líquido e conseqüentemente, inibe as atividades biológicas; assoreamento dos corpos receptores (SOUZA, 2011; DI BERNARDO *et al.*, 2012). Dessa forma, o tratamento e disposição final dado aos RETAs devem ter uma atenção especial diante das suas características e seus impactos provocados ao meio ambiente.

De acordo com Di Bernardo e Paz (2008), os RETAs podem ser aproveitados para obtenção de benefícios após sua transformação. Dentre as diversas alternativas de usos e disposição de resíduos de ETAs, pode-se destacar a disposição em aterros sanitários, a sua incorporação nos insumos para a fabricação de bloco cerâmico, tijolo, matriz de cimento e para a recuperação de solos agrícolas e áreas degradadas, o aproveitamento em estações de tratamento de esgoto - ETE.

Nesse cenário, a melhoria do desempenho ambiental no que se refere ao controle do lodo gerado dentro de uma ETA é considerado um tema chave, uma vez que este passivo pode ter significativos impactos ambientais e alcançar diversos seres vivos.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Avaliação da geração e descarte dos resíduos gerados na Estação de Tratamento de Água Piauitinga, localizada em Salgado - Sergipe.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar quantitativamente e qualitativamente o lodo gerado na ETA-Piauitinga;
- Propor alternativas de tratamento e disposição do lodo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Tecnologias de tratamento de água

As estações de tratamento de água são unidades no sistema de saneamento que têm a finalidade de transformar a água bruta em água potável através de diversos processos de tratamento que variam de acordo com as características do manancial, onde essa água é captada. A seguir serão apresentadas as principais tecnologias de tratamento.

3.1.1 Estação de tratamento de ciclo completo

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, no ano de 2008, a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) apontou que, dos 5.166 municípios brasileiros existentes que possuem serviço de abastecimento de água por rede de distribuição e com a existência do tratamento de água, o predomínio do processo do tipo ciclo completo ocorre em 2.817, o equivalente a 54% dos municípios. Nesse tipo de tratamento há as seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoretação e estabilização final.

Etapas do tratamento de ciclo completo:

- Coagulação: É a primeira etapa após a chegada da água bruta à estação de tratamento de água, onde há a adição de agentes coagulantes que têm a finalidade de desestabilizar quimicamente as partículas sólidas presentes na água criando, assim, condições para favorecer a aglutinação das mesmas, já que essas partículas sólidas apresentam forças eletrostáticas de repulsão entre si. O sulfato de alumínio e o cloreto férrico são os agentes coagulantes mais utilizados para esta finalidade (DI BERNADO e PAZ, 2008a).

- Floculação: Etapa subsequente à coagulação, onde a água bruta, já contendo a dosagem necessária de coagulante, é direcionada para tanques ditos de floculação que tem por objetivo permitir a formação de partículas mais volumosas e densas por meio de choques entre si, ocasionado pela agitação lenta da água que ocorre nessa etapa (DI BERNADO & COSTA, 1993 apud MACEDO, 2007 apud FRANCISCO *et al*, 2011).

É importante salientar que, nessa etapa não ocorre remoção das impurezas, portanto, as partículas maiores que foram formadas, denominadas de flocos, são levadas juntamente com a água para etapas posteriores de tratamento (HELLER e PADUA, 2006 apud FRANCISCO *et al*, 2011).

- Decantação: A decantação, usualmente chamada de sedimentação, consiste em um processo de remoção das partículas floculentas formadas na etapa anterior, que possuem densidade superior à da água e assim, através de forças gravitacionais, são depositadas ao fundo do decantador dando origem assim ao lodo sedimentado (RICHTER e NETTO, 1991).

É importante mencionar que algumas partículas possuem densidade muito próxima à da água ou possuem dimensões muito pequenas, impossibilitando a retenção nesta etapa. Portanto, é necessária a existência de uma quarta etapa de tratamento, a qual deve removê-las. (RICHTER e NETTO, 1991).

- Filtração: A água, agora mais clarificada após a decantação, é levada até os filtros, que por sua vez possuem meios granulares filtrantes que retêm as partículas durante a percolação da água por entre o leito. Esses resíduos ficarão retidos no meio filtrante até a operação de lavagem dos tanques de filtração, onde fortes correntes de água se encarregarão de remover as partículas acumuladas no interior do leito (RICHTER e NETTO, 1991).

Em geral, no Brasil, os meios filtrantes mais utilizados são os filtros de areia ou de camada simples, que são constituídos apenas de diferentes frações granulares de areia, e os filtros de camada dupla, constituídos de areia e antracito. O antracito é um tipo de carvão mineral de capacidade retentora de material particulado superior a areia, mas inferior ao carvão ativado. Ainda que incipiente, também é utilizado no Brasil o carvão ativado como meio filtrante, no entanto com o objetivo, na maioria dos casos, de adsorver agrotóxicos ou compostos orgânicos que sejam capazes de atribuir a água tratada características como odor e sabor (LIBÂNIO, 2010).

Essa etapa é considerada a última fase de remoção de impurezas de uma estação de tratamento de água. Portanto, a água na saída dos filtros deve atender aos padrões de potabilidade da água estabelecido pelo Ministério da Saúde, presentes na Portaria nº 2.914 (BRASIL, 2011).

- Desinfecção: Não sendo possível assegurar a completa remoção de todos os micro-organismos até a fase de filtração, um tratamento de desinfecção se torna necessário, onde o objetivo é eliminar os organismos patogênicos que possivelmente possam estar

presentes na água e prevenir assim, o crescimento microbiológico nas redes de distribuição (LIBÂNIO, 2010).

Segundo Libânio (2010), dentre os agentes de desinfecção, o cloro, sob diversas formas, é o agente químico desinfetante mais utilizado em estações de tratamento de água e também, no tratamento de águas residuárias. Diversas razões levam à utilização de compostos a base de cloro para garantir a inativação dos micro-organismos patogênicos presentes na água, entre elas podem ser destacadas:

- a) É capaz de remover a maioria dos micro-organismos patogênicos presentes nas águas em um tempo relativamente curto.
- b) Apesar de deixar um residual em solução, o cloro não é tóxico aos seres humanos e essa concentração remanescente protege o sistema de distribuição contra possíveis entradas de organismos ao longo da tubulação. Os residuais deixados em solução são relativamente estáveis.
- c) Nas dosagens comumente empregadas para a desinfecção não há a liberação de odores ou percepção de sabor às águas.
- d) Seu custo é relativamente baixo e possui facilidade de transporte, manuseio e armazenamento. Também é facilmente disponível em seu estado gasoso, líquido ou sólido.
- e) Sua aplicação é fácil, devido à sua alta solubilidade em água, que à temperatura de 10° C pode atingir 10,0 g/L.

Entretanto, o cloro apresenta alguns pontos desfavoráveis quanto a sua utilização. Quando em sua forma gasosa, o cloro é considerado um gás venenoso e corrosivo, portanto é necessário um manuseio cauteloso. Outro problema está associado ao odor e gosto resultantes de sua reação com fenóis, que em solução aquosa produzem os clorofenóis (RICHTER e NETTO, 1991).

- Fluoretação: a aplicação de compostos à base de flúor na água potável é previsto em lei e tem por objetivo prevenir o aparecimento de cáries dentárias na população. Os compostos usualmente utilizados para a fluoretação são o fluossilicato de sódio, o fluoreto de sódio e o ácido fluossilícico (LIBÂNIO, 2010).

- Estabilização final: Nesta última fase ocorre o combate à corrosão e a incrustações da água na tubulação para evitar prejuízos significativos das instalações e aumento da perda de carga. Com o intuito de prevenir o aparecimento de material depositado

sobre a superfície da tubulação e controle do pH aplica-se à água uma solução de cal hidratada ou carbonato de sódio (LIBÂNIO, 2010).

3.1.2 Outros tipos de processos de tratamento de água

De maneira distinta do processo convencional outros elementos com diferentes atuações podem ser empregados para tratar a água dentro de uma ETA. Esses elementos podem ser agregados ao tratamento convencional ou mesmo substituir alguma etapa. Na maioria das vezes os tratamentos ditos não convencionais são escolhidos devido à complexidade da matriz aquosa original ou mesmo para acelerar o tempo de tratamento.

- Filtração direta descendente:

Este tipo de operação é indicado quando a água bruta possui pouco material dissolvido, associado a baixos valores dos parâmetros turbidez e cor. Neste caso a ETA opera sem as etapas de floculação e decantação, e assim a água é encaminhada diretamente para os tanques de filtração. (DI BERNARDO e PAZ, 2008a).

- Filtração direta ascendente:

Empregado em filtros do tipo simples, o qual é composto somente por um único meio filtrante (areia). A estruturação das frações de areia ocorre sobre uma camada suporte (seixos) e um fundo falso. O meio filtrante é composto por subcamadas de areia estratificada de forma a obter os grãos com menores diâmetros na parte de cima do tanque e os mais grossos na parte de baixo. E conforme a água escoar de baixo para cima todo o material filtrante participa da etapa de filtração retendo as impurezas de maiores e menores diâmetros nas subcamadas inferiores e superiores, respectivamente. Nessa câmara, a água é coletada por uma calha coletora de água filtrada posicionada na parte de cima da câmara, que também será utilizada para coletar a água de lavagem dos filtros (DI BERNARDO, 2003).

Quando comparado com a filtração do tratamento convencional, a filtração direta ascendente apresenta uma série de vantagens, como: redução na quantidade de coagulante utilizado; maior retenção de impurezas com a filtração no sentido do grão maior para o menor, redução na perda de carga e maior duração da carreira de filtração (WIECHETECK, 2003).

- Dupla filtração:

O tratamento de água de abastecimento por dupla filtração emprega a filtração direta ascendente seguida da filtração rápida descendente, que podem funcionar conjugados ou fisicamente separados. A Combinação desses dois processos se torna eficaz, uma vez que, as impurezas remanescentes no efluente do filtro ascendente ficam retidas na filtração rápida. (WIECHETECK, 2003).

Esse método de filtração é muito indicado quando há suspeitas ou confirmação da presença de alguns organismos patogênicos específicos na água, como vírus e cercárias, a solução mais adequada neste caso, foca na retenção destes organismos com o uso da dupla filtração devido a sua resistência à inativação pelo uso do cloro na etapa de desinfecção (RICHTER e NETTO, 1991; WIECHETECK, 2003).

- Floto-filtração:

A flotação é um processo que se dá pela clarificação da água através da separação da fase sólida, uma vez que as partículas menos densas que o líquido flutuam para a superfície, aderindo-se às microbolhas de ar (RITCHER e NETTO, 1991).

A floto-filtração é uma tecnologia de tratamento de águas para abastecimento baseado na clarificação e filtração da água, e é mais indicado para águas que apresentem elevada concentração de algas ou cor verdadeira alta. Nesse tratamento, a flotação por ar e a filtração acontecem na mesma unidade, com isso, o material sólido flota com a mesma taxa que o subnadante é filtrado (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

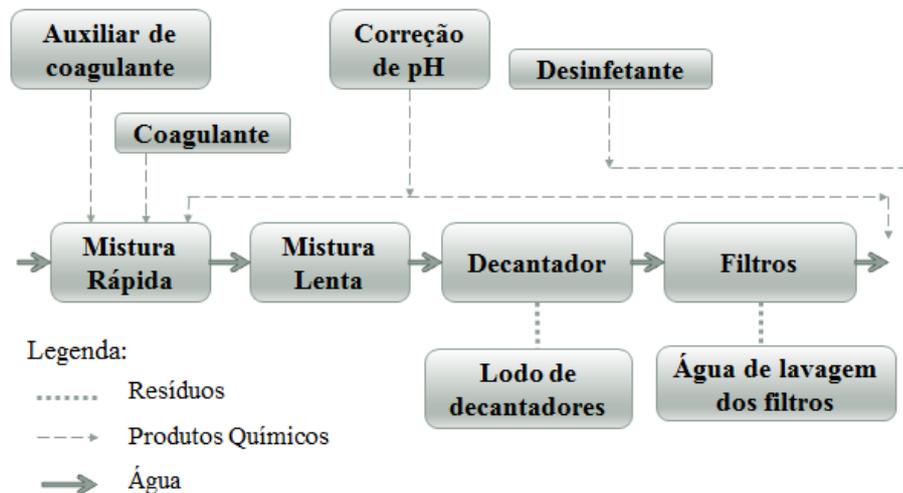
3.2 Origem e características do lodo gerado em ETAs

Segundo Reali (1999), ao longo do processo de potabilização da água nas ETAs convencionais, há a geração de resíduos em algumas etapas, são elas:

- Rejeito líquido da limpeza do tanque de produtos químicos;
- Lodo proveniente da descarga dos decantadores;
- Água de lavagem dos filtros contendo material particulado;

A Figura 1 apresenta os pontos geradores de resíduos de uma ETA convencional.

Figura 1 - Resíduos produzidos em ETA do tipo convencional.



Fonte: Adaptado Reali, 1999.

O resíduo proveniente das limpezas ou descargas dos decantadores, o lodo, é responsável pela maior parcela mássica dos resíduos produzidos em uma ETA. As determinações de suas características são de suma importância para o seu estudo de impacto ambiental no meio ambiente, e assim, poder definir um melhor tratamento, transporte e disposição final (MARGUTI, 2012).

Segundo Achon *et al.* (2005), os resíduos provenientes das estações de tratamento de água possuem uma parcela grande de umidade, maior que 95%, portanto, normalmente esse tipo de resíduo apresenta-se sobre a forma fluida.

De acordo com Scalize (2003), os lodos provenientes dos decantadores das ETAs convencionais possuem características bem distintas variando de uma estação para outra em função das particularidades do tratamento existentes em cada uma, por exemplo:

a) Características da água bruta

As características da qualidade da água que alimenta o sistema de uma ETA influenciam no lodo do decantador devido às mudanças sazonais que ocorrem ao longo do ano e influenciam o manancial levando-o a apresentar, dependendo da época do ano, maior ou menor quantidade de material particulado dissolvido e em suspensão. Essa variação na concentração de partículas na água bruta é devida as intensas precipitações pluviométricas ou período de estiagem que as bacias hídricas ficam submetidas. (SOUZA, 2011). Outros aportes que alteram as características da água são a presença de contaminantes externos ao manancial,

como agrotóxicos, esgoto sanitário, resíduos de ETAs ou de estações de tratamento de esgotos (ETEs), resíduos industriais, entre outros, que podem atingir a água bruta a ser tratada (SCALIZE, 2003).

b) Produtos químicos utilizados no tratamento

A dosagem dos produtos químicos utilizados principalmente durante a etapa de coagulação depende das características da água que a ETA recebe, ou seja, quanto pior a qualidade da água bruta maior será a aplicação de produtos químicos, que influenciará diretamente no volume, composição e característica do lodo gerado. Os produtos químicos mais utilizados em uma ETA são agentes coagulantes e auxiliares de coagulação, como polímeros, ou mesmo o carvão ativado, e aqueles utilizados para ajuste de pH (SCALIZE, 2003).

Os agentes coagulantes mais utilizados na etapa de coagulação são o sulfato de alumínio e cloreto férrico, e o lodo proveniente desses agentes coagulantes são conhecidos como lodo de sulfato de alumínio e lodo de cloreto férrico, respectivamente (CORDEIRO, 1999 apud ANDREOLI, 2006). No entanto outros produtos orgânicos naturais como a fécula de mandioca e de batata podem ser empregados de forma alternativa nesta etapa.

O lodo de sulfato de alumínio é um resíduo pastoso, onde sua fração sólida é constituída de hidróxido de alumínio, partículas inorgânicas, colóides e resíduos orgânicos. O lodo de sulfato de alumínio apresenta baixa degradabilidade e fácil sedimentação, porém por apresentar baixa compactação apresenta um grande volume e baixo teor de sólido (RICHTER, 1991). As principais características do lodo de sulfato de alumínio são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características típicas de lodos de sulfato de alumínio gerados em uma ETA

Sólidos Totais (%)	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (%)	Inorgânicos (%)	Matéria Orgânica (%)	pH	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)
0,1 – 4	15 – 40	35 – 70	15 – 25	6 – 8	30 – 300	30 – 5.000

Fonte: Adaptado de Richter (2001).

A aparência do lodo de sulfato de alumínio varia de acordo com a concentração de sólidos conforme sugerido pela a Tabela 2 (RICHTER, 2001).

Tabela 2 – Aparência do lodo de sulfato de alumínio em função da concentração de sólidos

Concentração de sólidos (%)	Aparência do lodo
0 – 5	Líquido
8 – 12	Esponjoso, semi-sólido
18 – 25	Argila ou barro suave

Fonte: Adaptado de Richter (2001).

Segundo Barroso (2002) apud Achon *et al.* (2005), em ETAs que utilizam o sulfato de alumínio como coagulante, a produção de lodo é de cerca de 22 g de sólidos para cada m³ de água tratada. As características dos lodos gerados em ETAs que utilizam os sais de ferro como coagulante são parecidas com as do lodo de sulfato de alumínio, conforme é apresentada na Tabela 3, porém, sua fração sólida é constituída pelo hidróxido de ferro (RICHTER, 2001).

Tabela 3 – Características típicas de lodos gerados a partir do coagulante a base de sais de ferro

Sólidos Totais (%)	Fe (%)	Materiais Voláteis (%)	pH
0,25 – 3,5	4,6 – 20,6	5,1 – 14,1	7,4 – 9,5

Fonte: Adaptado Richter (2001).

c) Tecnologia de tratamento e mecanismos de coagulação

A metodologia empregada para o tratamento da água em uma ETA influencia nas características dos resíduos gerados, portanto, ETAs que utilizam tecnologias diferentes terão resíduos com características distintas.

Dentre os processos, o que mais influencia nas características do lodo são o tipo de decantador e o processo de remoção de resíduos. Os decantadores convencionais com remoção manual de lodo geralmente são limpos entre 20 e 90 dias, de acordo com as características da água bruta, o lodo oriundo desse tipo de decantador é considerado mais concentrado quando comparado ao decantador de alta taxa ou ao decantador com remoção contínua de lodo, portanto, dependendo da estrutura deste tanque o lodo pode ficar mais ou menos tempo disposto. Vale mencionar que o seu acúmulo prolongado possibilita a ocorrência de condições para proliferação de organismos anaeróbios na massa do lodo, prejudicando assim sua qualidade e a da água tratada (REALI, 1999; GRANDIN 1992 apud SOUZA, 2011).

d) Contaminantes contidos nos produtos químicos utilizados no tratamento

Segundo Carvalho (1999) apud Scalize (2003), os produtos químicos comumente utilizados em ETAs possuem quantidades significativas de metais pesados, influenciando assim, nas características dos resíduos formados. O sulfato de alumínio, um coagulante bastante empregado, contém 3 a 6% de ácido sulfúrico não reagido e metais pesados, como chumbo, cromo, mercúrio e outros metais, que são provenientes da bauxita, que, por sua vez, é utilizada na produção do sulfato (SCALIZE, 2003). A Tabela 4 apresenta uma faixa de variação de metais encontrados nos lodos de ETAs que utilizam alumínio e cloreto férrico.

Tabela 4 – Metais encontrados nos lodos de ETAs usando alumínio e cloreto férrico (mg.kg^{-1} peso seco)

Metais	Alumínio (mg/kg)		FeCl ₃ (mg/kg)	
	Taxa de variação	Média	Taxa de variação	Média
Cd	1 - 2	1,6	<0,2 - 2	<1
Cu	135 – 230	171	135 – 485	272
Cr	40 – 64	50	62 – 513	269
Ni	26 – 65	44	33 – 218	136
Pb	47 – 439	204	18 – 840	245
Zn	195 - 815	527	215 - 865	575

Fonte: Adaptado de AWWA, 1990 apud Andreoli, 2006

3.2.1 Características físicas, químicas e biológicas dos resíduos formados em uma ETA

A caracterização completa dos resíduos sólidos que são produzidos pela ETA é de suma importância, uma vez que, conhecer determinados parâmetros possibilita a definição dos melhores métodos de tratamento e disposição dos resíduos. Segundo Pereira (2011), são vários os parâmetros físicos, químicos e biológicos que podem ser usados para caracterizar o lodo, são eles: teor de sólidos, turbidez, pH, alcalinidade, indicadores do teor de matéria orgânica (demanda biológica de oxigênio - DBO, demanda química de oxigênio - DQO, carbono orgânico total – COT, concentração de sólidos voláteis - SV), indicadores bacteriológicos (coliformes totais, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, cistos de *Giardia*, oocistos de *Cryptosporidium*), concentração de metais pesados (manganês, chumbo, alumínio, ferro e etc). A Tabela 5 apresenta os valores de alguns parâmetros físico-químicos associados aos resíduos gerados em diferentes ETAs citados por vários pesquisadores.

Tabela 5 – Características dos resíduos gerados em diferentes ETAs por diversos pesquisadores

Autor (ano)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	pH	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SS (% ST)
Neubaer (1986)	30 - 150	500 - 15.000	6,0 - 7,6	1.1000 - 16.000	20% - 30%	-
Sutherland (1969)	100 - 232	669 - 1.100	7	4.300 - 14.000	25%	80%
Bugg (1970)	380	1.162 - 15.800	6,5 - 6,7	4.380 - 28.580	20%	-
Albrecht (1972)	30 - 100	500 - 10.000	5,0 - 7,0	3.000 - 15.000	20%	75%
Culp (1974)	40 - 150	340 - 5.000	7	-	-	-
Nilsen (1974)	100	2,3	-	10.000	30%	-
Singer (1974)	30 - 300	30 - 5.000	-	-	-	-
Cordeiro (1981)	320	5.150	6,5	81.575	20%	-
Vidal (1990)	449	3.487	6,0 - 7,4	21.972	15%	-
Vidal (1990)	173	1.776	6,7 - 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: Reali, 1999.

A determinação da concentração de sólidos, em especial, os sólidos suspensos totais (SST) e os sólidos totais (ST) tem sido um dos principais parâmetros usados na caracterização dos resíduos gerados pelo tratamento da água em uma estação, uma vez que esses parâmetros são importantes para a avaliação do índice da quantidade de lodo gerado (DI BERNARDO e PAZ, 2008). De acordo com Richter (2001), em ETAs onde o sulfato de

alumínio é utilizado como coagulante, a concentração de ST na água de lavagem de filtro e no lodo de decantador variam entre 40 – 1.000 mg/L (0,004 – 0,1%) e 1.000 – 40.000 mg/L (0,1 – 4%), respectivamente. Tipicamente, 75% - 90% destes valores representa os sólidos suspensos totais (SST) e entre 20-35% de sólidos voláteis (SV).

As águas de abastecimento podem conter organismos patogênicos, uma vez que estão sujeitas a poluição diferenciada, como fontes de águas residuárias e excretas de origem humana ou animal, *in natura* ou sem tratamento adequado, tornando-se então, um veículo de transmissão de doenças. As bactérias do grupo coliformes são os principais parâmetros biológicos utilizados para avaliação das condições sanitárias da água (SCALIZE, 2003). Diversos autores constataram a presença de coliformes totais e *Escherichia coli* nas águas provenientes da lavagem de filtros em diferentes ETAs que utilizam sulfato de alumínio ou o cloreto férrico (Tabela 6).

Tabela 6 – Parâmetros biológicos identificados na água de lavagem de filtros de diferentes ETAs

Parâmetro (NMP/100 mL)	Sulfato de Alumínio		Cloreto Férrico	
	SCALIZE (1997)	DI BERNARDO <i>et al.</i> (1999)	SOUZA FILHO (1998)	DI BERNARDO <i>et al.</i> (1999)
Coliformes totais	1640-3440	1095	11100 - 241920	19350
<i>Escherichia coli</i>	68 a 453	3	100 - 17820	200

Fonte: Adaptado Scalize, 2003.

3.3 Impactos provocados pela disposição inadequada do lodo das ETAs

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) realizada em 2008 pelo IBGE mostrou que a grande maioria dos sistemas de abastecimento ainda descartam seus resíduos nos corpos d'água (Tabela 7).

Tabela 7 - Municípios, total e por existência de geração de lodo no processo de tratamento da água, por destino do lodo gerado, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação – 2008

Regiões	Municípios									Não há geração de lodo
	Total	Com Geração de lodo no processo de tratamento da água								
		Total	Destino do lodo gerado							
		Rio	Mar	Terreno	Aterro Sanitário	Incineração	Reaproveitamento	Outro		
Brasil	5.564	2.098	1.415	7	463	83	1	50	247	1.264
Norte	449	84	46	-	14	2	-	3	23	123
Nordeste	1.793	537	231	5	261	14	1	24	61	462
Sudeste	1.668	896	703	-	105	53	-	10	94	297
Sul	1.188	442	330	2	59	11	-	11	54	220
Centro-Oeste	466	139	105	-	24	3	-	2	15	162

Fonte: Adaptado de PNSB (2008).

Em Sergipe, a Companhia de Saneamento de Sergipe – DESO produz água potável a partir de 122 unidades de tratamento de água distribuídas em todo o território sergipano, abrangendo 71 dos 75 municípios do estado, entretanto, nenhuma das ETAs existentes possui tratamento e disposição final para os resíduos gerados no processo, dispondo-os nos corpos hídricos.

São muitos os impactos negativos gerados pelo lodo ao meio ambiente, a disposição inadequada dos RETAs em corpos d'água contribuem para o aumento da concentração de metais tóxicos nos bentos, limita a concentração de carbono disponível para alimentação de macro-invertebrados e, as elevadas concentrações de sólidos suspensos aumenta a turbidez e diminui significativamente a luminosidade do meio líquido, reduzindo a produtividade do fitoplâncton nos locais próximos aos pontos de descarga. Esses efeitos negativos não estão restritos apenas aos corpos receptores, devido à presença no lodo de agentes patogênicos e metais pesados, há os riscos à saúde humana caso haja o contato das águas contaminadas pela população (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

Diante disso, o lançamento indiscriminado dos RETAs *in natura* no meio ambiente contribui para a degradação do corpo receptor, portanto, para serem dispostos em corpos d'água devem atender as condições e os padrões estabelecidos pela resolução CONAMA nº 430 (2011).

3.4 Métodos de tratamento de lodo de ETAs

Os métodos mais usualmente empregados para o tratamento do lodo provenientes das ETAs consistem de: equalização, regularização, condicionamento, adensamento, desaguamento e, em alguns casos, secagem e incineração. Essas técnicas têm o objetivo de reduzir significativamente o volume original do resíduo até uma determinada concentração de sólidos que satisfaça o seu aproveitamento e/ou disposição final, a escolha da melhor tecnologia dependerá das características qualitativa e quantitativa do lodo e das condições climáticas da região. (DI BERNARDO e PAZ, 2008a).

A água presente no lodo é encontrada em diversas frações e, dependendo de qual subdivisão se encontra, a água pode apresentar menor ou maior dificuldade de separação da fase sólida. A quantidade relativa, de cada uma das diferentes frações líquidas, determina o desempenho dos sistemas de remoção de água que serão utilizados (REALI, 1999).

A distribuição dos diferentes estados físicos de água presentes nos lodos é classificada da seguinte forma: água livre, água intersticial, água vicinal e água de hidratação. As quantidades hídricas relativas nestas diferentes frações é que determinam as suas características de retenção nos resíduos e, conseqüentemente, o desempenho dos sistemas de remoção de água. A água livre não está associada a partículas sólidas e está presente na maior parte do lodo, dentre as frações presentes, é a que apresenta menor dificuldade de separação entre as fases líquida e sólida, sendo necessária apenas uma sedimentação gravitacional simples. Água intersticial se refere à água presente no interior ou intimamente ligada aos flocos, liberada pela quebra do floco, já a água vicinal está associada a estrutura molecular da água (pontes de hidrogênio), não podendo ser removida por meios mecânicos. Por último a água de hidratação é aquela ligada quimicamente às partículas sólidas, liberada por destruição termoquímica das partículas. Para retirada destas frações, em especial a água intersticial e vicinal, é necessário o uso de polímeros e métodos específicos para remoção (DI BERNARDO e PAZ, 2008b).

3.4.1 Equalização e regularização de vazão

Os tanques de equalização servem para receber as diferentes correntes de efluentes produzidos de forma a obter um resíduo mais homogêneo com concentrações de sólidos uniformes, e assim facilitar as operações de tratamento e disposição final. É

importante saber as características de operação do sistema, uma vez que, cada fonte geradora de resíduo apresenta características diferentes referentes à vazão e concentração de sólidos (DI BERNARDO e PAZ, 2008b).

Após o tanque de equalização, o lodo pode ser encaminhado para tratamento por adensamento/clarificação, desaguamento e disposição final em torta de lodo (MOREIRA FILHO e VIANNA, 2012).

3.4.2 Condicionamento

O condicionamento consiste em fornecer as condições necessárias para a liberação da água presente no lodo, e posterior sucesso do processo de adensamento e do desaguamento. De acordo com as características dos resíduos e do local onde é produzido, o condicionamento pode ser químico ou físico (DI BERNARDO e PAZ, 2008b).

O condicionamento químico consiste na adição de polímeros naturais ou artificiais, e conforme as características dos resíduos, pode ser utilizado no condicionamento, polímeros classificados de acordo com os grupos ionizáveis (catiônicos, aniônicos ou não aniônicos). O condicionamento físico é mais empregado em países que possuem clima frio, uma vez que esse método consiste no congelamento-degelo, a fim de proporcionar mudanças físicas ao lodo (SCALIZE, 2003).

Segundo Di Bernardo e Paz (2008b), o condicionamento químico é o mais utilizado nas ETAs brasileiras, que utilizam polímeros catiônicos, aniônicos ou não iônicos.

3.4.3 Adensamento

A técnica de adensamento do lodo tem a finalidade de remover o máximo de água possível antes de sua desidratação final, principalmente em estações de tratamento de resíduos que utilizam equipamentos de desidratação mecânica, uma vez que, para o adequado funcionamento, esses equipamentos exigem uma concentração de sólidos no lodo de entrada da ordem de 2%. Em geral, o lodo adensado apresenta um teor de sólidos no lodo entre 2 a 8%. Existem três possibilidades de adensadores: por gravidade, por flotação e mecanizados (SCALIZE, 2003; DI BERNARDO e PAZ, 2008b).

Os adensadores por gravidade são recomendados para lodos provenientes do abrandamento da água, devido a facilidade do lodo em sedimentar. Normalmente, o material

adensado obtido por essa técnica possui uma concentração de sólidos final de 1 a 3% (CORNWELL *et al.*, 1987 apud SCALIZE, 2003).

Os adensadores por flotação são mais eficientes na remoção de *Cryptosporidium* e *Giardia* (Edzawald, 1995 apud Di Bernardo e Paz, 2008b). Segundo Di Bernardo e Paz (2008b), essa técnica é rara no Brasil, não sendo identificados o seu uso nas ETAs brasileiras. Já os adensadores mecanizados são mais comuns em ETAs de grande porte, pois quando comparado aos outros métodos de adensamento, essa técnica possui a vantagem de precisar de menores áreas de implantação e apresentar um baixo custo de operação (DI BERNARDO e PAZ, 2008b).

3.4.4 Desaguamento

O desaguamento de lodo adensado consiste em um processo de desidratação do mesmo, a fim de reduzir seu volume, aumentando assim, a concentração de SST no lodo. O desaguamento pode ser efetuado de forma manual ou mecânica e, independente da técnica escolhida, é recomendável que após a desidratação, a torta gerada tenha uma concentração de SST superior a 200 g/L (ou concentração de SST superior a 20% em massa/massa) (DI BERNARDO e PAZ, 2008b).

Os métodos naturais de desaguamento são feitos por meio de lagoas e leitos de secagens, e dependem de condições meteorológicas, uma vez que a desidratação acontece por evaporação natural, drenagem por gravidade ou induzida. Já os métodos mecânicos ocorrem com o emprego de equipamentos como centrífuga, filtro-prensa e prensa desaguadora tipo parafuso, sendo mais indicada para ETAs que necessitem de uma torta de lodo com elevada concentração de sólidos e o tratamento seja realizado em um curto tempo (SCALIZE, 2003).

3.4.4.1 Lagoa de lodo

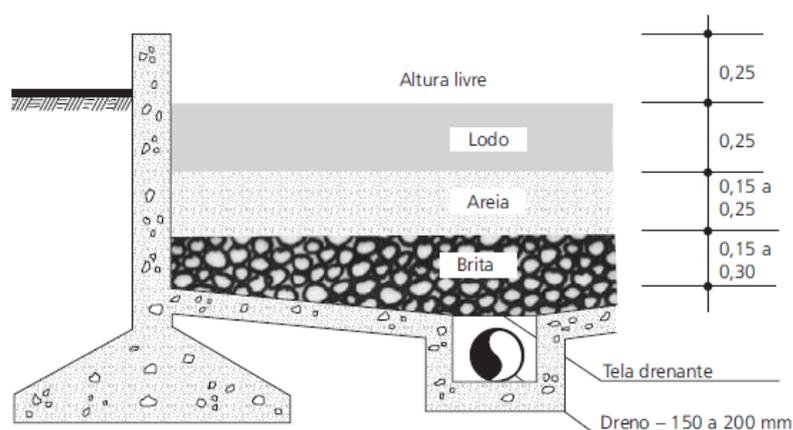
Lagoa que possui a função de acúmulo de material sólido drenado de outros sistemas de remoção de lodo. Essa técnica é a mais indicada para regiões onde a taxa de evaporação seja superior à de precipitação, caso seja adotada em ETAs em condições contrárias, deve-se instalar dispositivos para retirar o sobrenadante. O desaguamento acontece em três fases: drenagem, evaporação e transpiração, sendo a fase de evaporação a mais importante das três (DI BERNARDO e PAZ, 2008b).

Os sistemas de lagoas de lodo funcionam com duas ou mais unidades que operam em paralelo. Após o enchimento completo de uma lagoa, a mesma é retirada de operação para que ocorra a desidratação do lodo e posteriormente a retirada do lodo desidratado (REALI, 1999).

3.4.4.2 Leitões de secagem

A remoção de água livre dos lodos por unidades denominadas de leitões de secagem é um dos métodos mais utilizados e mais eficientes para o tratamento do lodo, principalmente em regiões onde as condições climatológicas são favoráveis de alta insolação e disponibilizam áreas para sua implantação (REALI, 1999). Nos sistemas tradicionais, o leito de secagem é composto por camada suporte, meio filtrante e sistema drenante, conforme apresenta a Figura 2.

Figura 2 – Esquema de um leito de drenagem (corte)



Fonte: Reali, 1999.

A camada suporte é constituída de pedregulho ou pedra britada e tem a finalidade de manter a espessura do lodo uniforme, favorecer a percolação do filtrado em toda área e facilitar a remoção manual do lodo. (DI BERNARDO e PAZ, 2008b).

3.4.4.3 Centrífuga

O desaguamento por equipamento como a centrifugação ocorre devido ao uso da força centrífuga gerada pela rotação mecanizada de um tambor cilíndrico horizontal, que separa a fase líquida da sólida, onde as partículas sólidas ficam aderidas na parede interna do tambor das centrífugas. O tamanho das partículas influencia diretamente na eficiência do

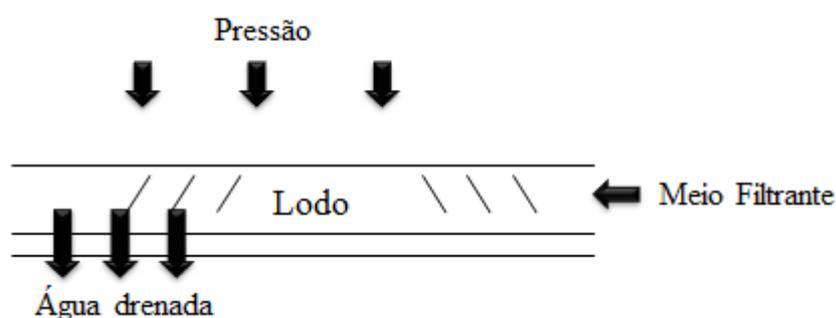
sistema, se as partículas sólidas em suspensão aquosa possuem grandes dimensões, os flocos atingem rapidamente a parede das centrífugas promovendo uma torta bastante espessa, e caso as partículas sejam muito finas, muitas vezes não conseguem uma adesão adequada nas paredes, tornando a eficiência de remoção muito baixa. Como os lodos de ETAs possuem partículas sólidas de pequenas dimensões, é recomendado o condicionamento químico do lodo antes da centrifugação para que se obtenha uma maior coesão entre os sólidos, mantendo assim, uma boa eficiência do sistema (REALI, 1999).

Segundo Di Bernardo e Paz (2008b), antes do uso da centrifugação, é recomendável que o lodo adensado apresente um teor de SST de, no mínimo, 2% (massa/massa) e a dosagem do polímero entre 2 a 5 mg/g SST. Neste caso, as tortas produzidas apresentam massa específica de 1,1 a 1,3 kg/L e teor de SST entre 20 e 30% (massa/massa) (DI BERNARDO e PAZ, 2008b).

3.4.4.4 Filtro-prensa

O sistema de remoção de água por filtro-prensa acontece primeiro com a aplicação de pressão sobre a massa de lodo e posteriormente a filtração da água contida no mesmo, o produto desse processo é uma torta de lodo com teor elevado de sólidos. Há três tipos de filtro-prensa, são eles: filtro-prensa de placa, filtro-prensa de esteira ou de correia e filtro-prensa de diafragma (REALI, 1999). O processo de remoção de água por sistemas sob pressão é demonstrado através da Figura 3.

Figura 3 - Processo de remoção de água por sistemas sob pressão.



Fonte: Adaptado Reali (1999).

3.5 Aproveitamento e disposição final de lodo de ETAs

A busca por alternativas ambientalmente vantajosas e economicamente viáveis para a disposição final dos resíduos das ETAs continua sendo um grande desafio para as

empresas de saneamento no Brasil. A caracterização dos resíduos das ETAs e o conhecimento das legislações ambientais específicas para cada tipo de disposição final desejada são imprescindíveis para o sucesso do tratamento. Sendo assim, para qualquer método adotado, faz-se necessário a realização de uma pesquisa mercadológica, uma vez que é imprescindível o conhecimento dos potenciais clientes e a aceitação de mercado, tanto da parte do produtor como o consumidor final (TSUTIYA e HIRATA, 2001).

As alternativas de aproveitamento e disposição final mais empregadas são: disposição em aterros sanitários, descargas em estações de tratamento de esgoto, fabricação de tijolos, concreto, cimento e artefatos de cimento, disposição no solo, melhoria da sedimentabilidade em águas com baixa turbidez, cultivo de grama comercial, recuperação de áreas degradadas e melhoramento de solos agrícolas (DI BERNARDO *et al.* 2012). A seguir será comentada brevemente cada uma destas opções.

- Fabricação de tijolos: O lodo de ETAs apresentam características físicas e químicas semelhantes às características da argila natural e do xisto, utilizados no processo de produção de tijolos. Para ser usado como matéria-prima, o teor de sólidos desse resíduo deve ser superior a 30% (alguns fabricantes exigem teor maior que 50%) (DAVID e SANTOS, 2004 apud DI BERNARDO e PAZ, 2012) e o lodo desaguado deve ser aplicado na proporção de até 10% (em massa) de lodo na mistura com argila. Uma das grandes vantagens dessa utilização dos lodos de ETAs é a menor demanda de uso de argila e xisto, aumentando assim a vida útil das jazidas naturais. Entretanto, a presença de carvão ativado e cal no lodo inviabilizam a aplicação do lodo para esse fim, pois comprometem sua qualidade, uma vez que o carvão ativado causa expansão e rachaduras no tijolo (TSUTIYA e HIRATA, 2001; DI BERNARDO e PAZ, 2012).

- Disposição em aterros: A disposição final do lodo em aterros sanitários classe II, quando projetado e operado adequadamente, é considerada a prática mais simples e mais segura para o meio ambiente e para a saúde pública, entretanto, essa solução apresenta altos custos relacionados ao transporte e disposição final no aterro, tornando-se às vezes inviável do ponto de vista econômico. Na região metropolitana de São Paulo, os valores médios de transporte e disposição final em aterros particulares estão em torno de R\$ 60,00 a 80,00 por tonelada de lodo desidratado. Para que seja viável essa disposição, o lodo deve estar desidratado e com concentração de sólidos inferior a 25%, com isso, a ETA deve ser obrigada a possuir necessariamente unidades de adensamento, desaguamento e secagem (JANUÁRIO e FERREIRA FILHO, 2007; DI BERNARDO e PAZ, 2012). Segundo Di Bernardo *et al.*

(2012) não é recomendado a disposição de lodos de ETAs, que utilizam sal de alumínio como coagulante, em aterros sanitários pois as condições anaeróbias geradas podem provocar a produção de ácidos graxos voláteis, que levam a redução do pH do meio, favorecendo assim a lixiviação do alumínio. Essa disposição transfere a responsabilidade do gerenciamento dos RETAs e seus impactos para a administração do aterro (DI BERNARDO et al., 2012).

- Disposição em ETEs: Essa disposição pode ser feita via rede coletora de esgoto sanitário ou por meio de transporte em caminhão, e é considerada uma das formas mais baratas de disposição desses resíduos, uma vez que, não há necessidade de implantação de sistemas de tratamento de resíduos nas próprias ETAs e a redução do volume de água nos RETAs (REALI, 1999). Alguns efeitos positivos para o tratamento de esgoto foram percebidos por Tsutiya e Hirata (2001) como o controle do gás sulfídrico (H_2S), gerado durante a decomposição anaeróbia da matéria orgânica, o aumento da eficiência dos decantadores primários da ETE e maior eficiência na remoção de fósforo, principalmente em lodos de ETAs que contêm elevadas concentrações de ferro ou alumínio. Entretanto, essa disposição apesar de viável, não é considerada uma solução definitiva para a geração de resíduos, uma vez que a ETE também gera resíduos e eles devem ser tratados e dispostos adequadamente.

Segundo Rolan (1980) apud Tsutiya (2001) quando são inseridos na ETE 200mg/L de lodos provenientes de ETAs, a produção de lodos nas ETEs terá aproximadamente o dobro do volume produzido em comparação com as ETEs que não recebem lodos de ETAs. A inibição do processo biológico de tratamento de esgoto pode ocorrer devido ao recebimento do lodo oriundo das ETAs, e neste caso pode ser ocasionada devido à presença de concentrações de sólidos dissolvidos e alguns metais presentes no lodo. Outro fator de alteração no processo dentro das unidades de tratamento de esgoto é o aumento considerável de lodo gerado nos decantadores primários e o aumento da turbidez, SST e DQO no efluente final da ETE, estas são algumas das desvantagens observadas durante esse processo (TSUTIYA e HIRATA, 2001; DI BERNARDO e PAZ, 2008b).

- Cultivo de grama comercial: A utilização de lodos de ETAs para fins de cultivo de grama comercial possui a vantagem de propiciar um aumento da aeração e a capacidade de retenção de líquido no solo, e dependendo de suas características fornece nutrientes adicionais às plantas. Entende-se por grama comercial a grama utilizada para jardinagem, campos para atividade esportiva, parques, cemitérios e jardinagens de rodovias (TSUTIYA e HIRATA, 2001).

- Melhoria da sedimentabilidade em águas com baixa turbidez: Águas que apresentam baixa turbidez possuem também baixa velocidade de sedimentação, levando a uma maior dificuldade de coagulação dos compostos coloidais presentes na água, com isso, há maior aplicação de produtos químicos. Neste caso, o aproveitamento do lodo gerado rico em agentes coagulantes nos processos de tratamento de água apresenta-se como uma alternativa vantajosa para melhorar essa situação, pois os mesmos funcionariam como auxiliares de coagulação/floculação, fornecendo flocos maiores e mais densos. Com isso, há redução na quantidade de produtos químicos utilizados no tratamento e, conseqüentemente, redução nos custos de tratamento de água (TSUTIYA e HIRATA, 2001; SOUZA, 2011). Entretanto, diante das características do lodo, faz-se necessário o constante monitoramento a fim de controlar os possíveis riscos à água de consumo, como a presença de microrganismos e metais (CORNWELL e LEER, 1994 apud SOUZA, 2011).

Souza (2011) avaliou o comportamento da aplicação do resíduo aproveitado e proveniente da etapa de decantação de uma ETA para uso nos processos de coagulação, floculação e sedimentação em escala laboratorial do tratamento de água, utilizando o Jar Test. Nesse estudo pode-se comprovar que esse uso foi satisfatório quanto aos parâmetros analisados, uma vez que, não houve alterações significativas na água decantada com relação à turbidez, cor aparente e concentração de sólidos e coliformes. O aproveitamento do resíduo no tratamento de água empregado como auxiliar de coagulação/floculação reduziu o uso do coagulante em torno de 50 a 60% apresentando resultados satisfatórios quanto à remoção de turbidez. Entretanto, para ter resultados positivos de tratamento, deve ser levada em consideração a dosagem de coagulante empregada e a quantidade de lodo aplicado, para que não ocorra a queda na eficiência de sedimentabilidade dos flocos implicando em um maior custo do tratamento de água (SOUZA, 2011).

- Recuperação de solos agrícolas: Conforme Tsutiya e Hirata (2001) a aplicação de lodos de ETAs em solos agrícolas apresenta alguns benefícios como: melhoria estrutural do solo, ajuste de pH, adição de traços de minerais, aumento da capacidade de retenção de água e melhorias das condições de aeração do solo. Entretanto, essa aplicação apresenta alguns pontos desfavoráveis quando o lodo é proveniente de um tratamento de coagulação que emprega sais de alumínio. O alumínio presente na massa decantada reage no solo, capturando o fósforo disponível, tornando-o inacessível à planta (BUGBEE e ELLIOTT, 1999 apud DI BERNARDO e PAZ, 2008b). De outro ponto de vista, como o lodo apresenta baixas

concentrações de matéria orgânica e de nutrientes, essa forma de disposição não é tão vantajosa (TSUTIYA E HIRATA, 2001).

- Recuperação de áreas degradadas: O lodo pode ser usado para a recuperação da capacidade produtiva do solo, já que a área degradada não fornece condições ao desenvolvimento e fixação da vegetação. De acordo com Moreira et al. (2009), a disposição do lodo de ETA em uma área degradada pela extração da cobertura laterítica (cascalheira) é indicada pois o lodo pode auxiliar na imobilização de alumínio trocável e chumbo disponível no solo, além de auxiliar na distribuição horizontal de matéria orgânica, dos elementos Ca trocável, Mn e P disponíveis (MOREIRA et al. 2009).

- Uso na fabricação de material cerâmico: A incorporação de lodo de ETA no processo produtivo da cerâmica vermelha traz comprovadamente diversas vantagens ambientais, entre elas é válido ressaltar a economia da matéria-prima argilosa, o co-processamento com o aproveitamento ambientalmente correto de um resíduo nas olarias e possibilidade de inertização dos resíduos. Durante o processamento da cerâmica vermelha há uma etapa de queima que pode alcançar temperaturas da ordem de 600 a 1000°C, essas altas temperaturas conseguem estabilizar possíveis elementos tóxicos e perigosos que possam estar presentes nos resíduos (MARGEM, 2008).

De acordo com Januário e Ferreira Filho (2007) algumas pesquisas realizadas no Brasil constataram que o lodo pode ser utilizado no processo produtivo de material cerâmico, principalmente na construção civil, desde que não seja utilizado para funções estruturais, sendo indicada a proporção de 10% de lodo em relação a massa de argila (JANUÁRIO E FERREIRA FILHO, 2007). Segundo Morita *et. al* (2002) apud Januário e Ferreira Filho (2007), o custo da incorporação de lodo na produção de material cerâmico é de aproximadamente R\$ 35,00 por tonelada de lodo incorporado.

- Recirculação da água de lavagem dos filtros: A água proveniente da lavagem dos filtros durante a etapa de filtração é o resíduo produzido em maior quantidade volumétrica dentro de uma unidade de tratamento de água, não possuindo concentrações muito elevadas de sólidos suspensos (SST na faixa de 200 a 500 mg/L), portanto, a sua recirculação, ou aproveitamento, tem se tornado cada vez mais frequente por ser uma ótima alternativa do ponto de vista econômico. Entretanto, para a recirculação é recomendado um tratamento prévio da água de lavagem dos filtros para que não comprometa o funcionamento da estação, uma vez que nessa água há a possibilidade da presença acumulativa de microrganismos indesejáveis e pela presença de metais pesados (REALI, 1999).

Além de evitar a disposição inadequada desse resíduo *in natura*, há a possibilidade da redução no uso de agentes químicos, Saron *et al.* (1997) apud Scalize (2003) constatou que com a recirculação de 100% da água de lavagem de filtro, sem a prévia sedimentação da mesma, a ETA Guaraú avaliada em seu estudo, que possui uma vazão de 33,5 m³/s, economizou em torno de 10% na dosagem de agentes coagulantes utilizados no tratamento (SCALIZE, 2003).

Em estudos visando o reaproveitamento da água de lavagem de filtro da ETA-Anápolis/GO, Oliveira *et. al* (2012) destacou que para o desenvolvimento da recirculação faz-se necessário algumas considerações, são elas: a eficiência dos decantadores e flotadores; a determinação do volume de água de lavagem que será recirculada desde que não comprometa a eficiência do tratamento, portanto, a recirculação deve ser controlada; realização de monitoramento dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos (OLIVEIRA *et. al*, 2012).

3.6 Quantificação de lodo em projetos de ETAs existentes

A produção dos resíduos gerados em ETAs depende, principalmente, das partículas presentes na água bruta, do tipo e dosagem de produtos químicos utilizados e do desempenho do processo de tratamento, e a determinação qualitativa desses resíduos torna-se indispensável para a escolha e dimensionamento dos métodos de tratamento, disposição e/ou uso (ANDREOLI, 2001).

O tipo do sistema de remoção dos resíduos provenientes do decantador influencia diretamente nas características dos RETAs. Quando sua remoção é mecanizada, o descarte dos resíduos é feito em intervalos regulares de tempo, portanto, não é necessária a interrupção de operação do decantador. Entretanto, como grande parte das ETAs brasileiras não dispõem de sistema de remoção de resíduos mecanizado, a descarga dos resíduos é feita por batelada após um período geralmente superior a 30 dias de operação do decantador. Como o período de detenção dos sólidos nos decantadores é longo, o lodo apresenta um maior teor de sólidos devido ao processo de adensamento. O volume dos resíduos presentes nos decantadores representa de 0,5 a 2% do volume total produzido de água tratada em uma ETA (LIBÂNIO, 2010).

De acordo com Reali (1999), dois parâmetros são muito importantes para a estimativa real de produção de lodo em ETAs, são elas: a massa de sólidos secos presente no lodo e o volume de água descartada que atua como veículo da massa de sólidos. A massa de sólidos secos presente no lodo pode ser determinada através de um balanço de massa dos

sólidos no sistema, podendo também, ser calculada através de um balanço estequiométrico através da aplicação do coagulante químico. A Tabela 9 apresenta valores teóricos da produção de sólidos diante da aplicação de diversos agentes químicos na água (valores expressos em grama de resíduo gerado por grama de produto aplicado).

Tabela 8 – Produção teórica de sólidos

Produto químico	g de Sólidos produzidos por g de produto químico
Sólidos suspensos (silte)	1,0
Matéria Orgânica	1,0
Sulfato de Alumínio	0,26 como Al(OH)_3^*
Cloreto férrico	0,66 como Fe(OH)_3^*
Polímero	1,0
Cal	Permite 0,1 como fração insolúvel
Carvão ativado em pó	1,0

* Dependendo da forma de hidratação do sulfato de alumínio ou cloreto férrico

Fonte: Doe (1990) apud Reali (1999).

A determinação quantitativa do volume de água descartado com os sólidos, ou seja, a concentração de sólidos no lodo descartado, é feita através do teor de sólidos e é expressa em porcentagem (em massa) de sólidos secos presentes no lodo (RIBEIRO, 2007).

Em ETAs existentes, o método de quantificação de lodo é feito através de fórmulas empíricas, balanço de massa e determinação direta no campo, sendo indicada a aplicação de mais de um método simultaneamente para confiabilidade dos resultados (KATAYAMA, 2012).

Na literatura é possível encontrar diversas fórmulas empíricas distintas para determinação quantitativa de sólidos secos. Muitas vezes os dados de “sólidos suspensos” não estão disponíveis, por isso, alguns autores indicaram a substituição desse parâmetro por “turbidez”, multiplicando o mesmo por um fator de correção que varia entre 1,0 a 2,0 (RIBEIRO, 2007). A seguir são apresentadas algumas fórmulas empíricas para determinação de sólidos secos:

Fórmula elaborada por REALI (1999):

$$P = (1,5 \cdot T + k \cdot D) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde,

P – Produção de sólidos (g de matéria seca / m³ de água tratada);

T – Turbidez da água bruta (uT);

D – Dosagem de coagulante (mg/L);

k: Relação estequiométrica na formação do precipitado de hidróxido. Para sulfato de alumínio, k = 0,26; Para sulfato férrico, k = 0,54; Para cloreto férrico anidro, k = 0,66; Para cloreto férrico hidratado, k = 0,40;

Fórmula elaborada por WATER RESERCH CENTER – WTC (1979) (apud REALI, 1999):

$$P = (1,2 \cdot T + 0,07 \cdot C + k \cdot D + A) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde,

P – Produção de sólidos (g de matéria seca / m³ de água tratada);

C – Cor da água bruta (uH);

T – Turbidez da água bruta (uT);

D – Dosagem de coagulante (mg/L);

k - coeficiente de precipitação. Para sulfato d e alumínio líquido, k = 0,17; Para cloreto férrico líquido k = 0,39;

A - Outros aditivos, como carvão ativado em pó e polieletrólitos (mg/L);

Fórmula elaborada por AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (1996) (apud RIBEIRO, 2007):

$$P = 3,5 \cdot T^{0,66} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde,

P – Produção de sólidos (g de matéria seca / m³ de água tratada);

T – Turbidez da água bruta (uT);

CORNWELL (1987) apud RIBEIRO (2007):

$$P = (0,44 \cdot DSA + 1,5 \cdot T + A) \quad (\text{Equação 4})$$

Onde,

P – Produção de sólidos (g de matéria seca / m³ de água tratada);

DSA – Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L);

T – Turbidez da água bruta (uT);

A - Dosagem de outros aditivos, como carvão ativado em pó e polieletrólitos (mg/L);

RICHTER (2001):

Para Richter (2001) a fórmula mais prática para a previsão da massa e/ou volume de lodo gerado em uma ETA é:

$$S = (0,2 \cdot C + K_1 \cdot T + K_2 \cdot D) / 1000 \quad (\text{Equação 5})$$

Onde,

S – massa de sólidos secos precipitada (kg/m³ de água tratada);

C – Cor da água bruta (uH);

T – Turbidez da água bruta (uT);

D – Dosagem de coagulante (mg/L);

K₁ – 1,3

K₂ – 0,26 (para o uso de sulfato de alumínio como coagulante);

K₂ – 0,40 (para o uso de cloreto férrico);

$$M_S = N \cdot S \cdot Q \quad (\text{Equação 6})$$

Onde,

M_S – massa de sólidos por unidade de tempo (kg/dia);

N – rendimento da unidade de processo de tratamento, segundo Richter (2001), adotar 100% caso os dados não estejam disponíveis;

Q – Vazão de água tratada (m³/dia);

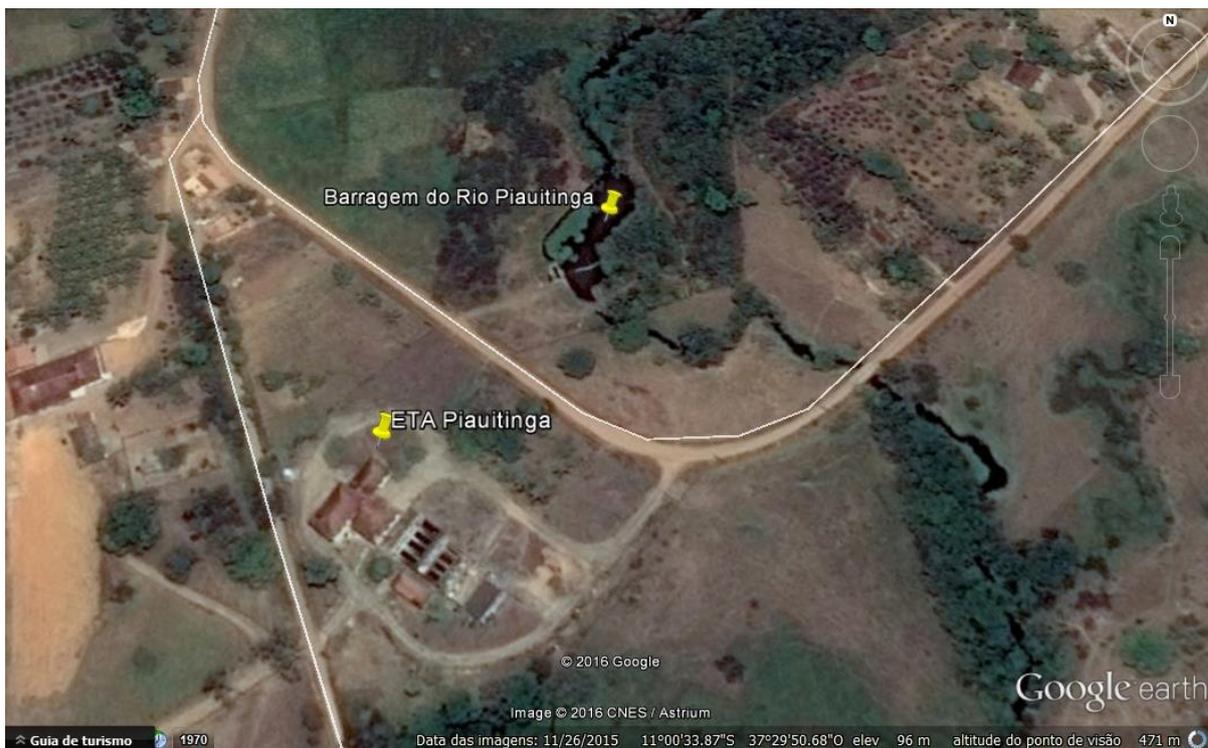
4 METODOLOGIA

4.1 GENERALIDADES

O foco deste estudo são os resíduos gerados pela Estação de Tratamento de Água do município de Salgado/SE, operada pela Companhia de Saneamento de Sergipe – DESO, e seguirá uma metodologia de avaliação da caracterização físico-química de amostras de lodo provenientes dos tanques de decantação e filtração aliado à configuração da estação, sendo em seguida proporcionado opções de direcionamento deste lodo de forma a não gerar impactos negativos ao meio ambiente.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na ETA-Piauitinga, localizada no povoado São Bento, município de Salgado, Sergipe, latitude $11^{\circ}00'33.87''S$ e longitude $37^{\circ}29'50.687''O$. Essa estação faz parte do sistema de abastecimento de água que está integrado a adutora do Piauitinga, que tem como manancial produtor o Rio Piauitinga. Este sistema capta a água por meio de uma barragem de nível a qual está a 200 m de distância da cidade de Salgado. Figura 4 apresenta uma foto de satélite onde é possível observar o distanciamento do ponto de captação à ETA.

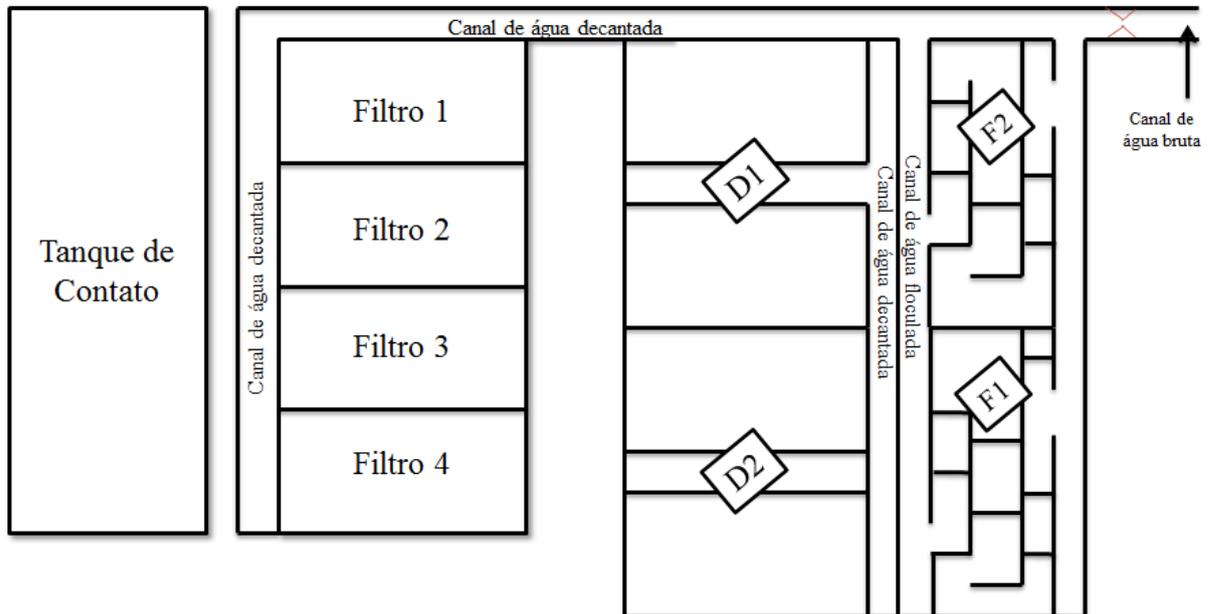
Figura 4 – Localização da ETA-Piauitinga

Fonte: Google Earth (2016).

A ETA-Piauitinga, inaugurada em 1982, opera a uma vazão de 200 L/s. O tipo de tratamento empregado nessa estação é o de ciclo completo, composto pelas etapas de coagulação, floculação, sedimentação e filtração, complementada por desinfecção e fluoretação. As principais unidades constituintes desta estação são: estrutura de chegada de água bruta, medição de vazão por calha Parshall, tanque de floculação, decantação de alta taxa de sedimentação, filtração, tanque de contato, sistema de retrolavagem dos filtros e casa de química, para armazenamento e preparo de soluções.

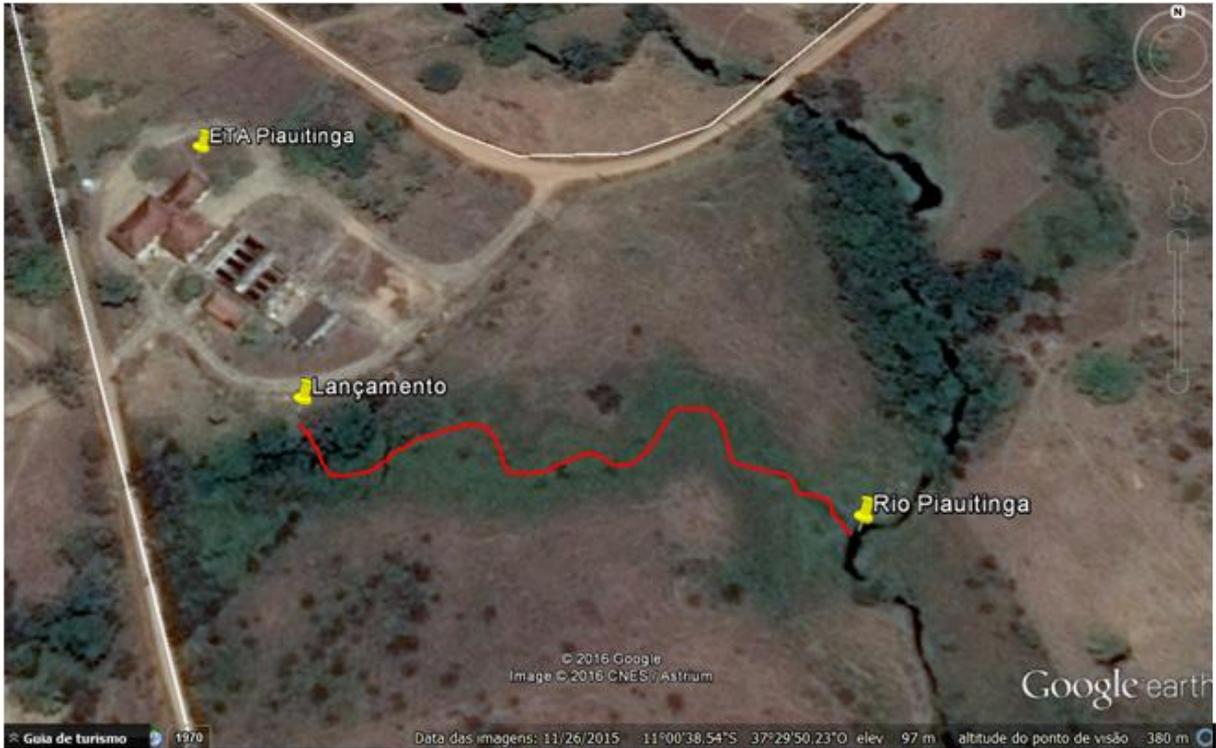
A Figura 5 mostra uma visão geral da disposição das principais unidades de tratamento envolvidas na estação. Assinalados como F1, F2, F3 e F4 estão os 04 (quatro) filtros, D1 e D2 representam 02 (dois) decantadores, FL1 e FL2 representam os 02 (dois) floculadores.

Figura 5 - Disposição das unidades de tratamento presentes na ETA-Piauitinga



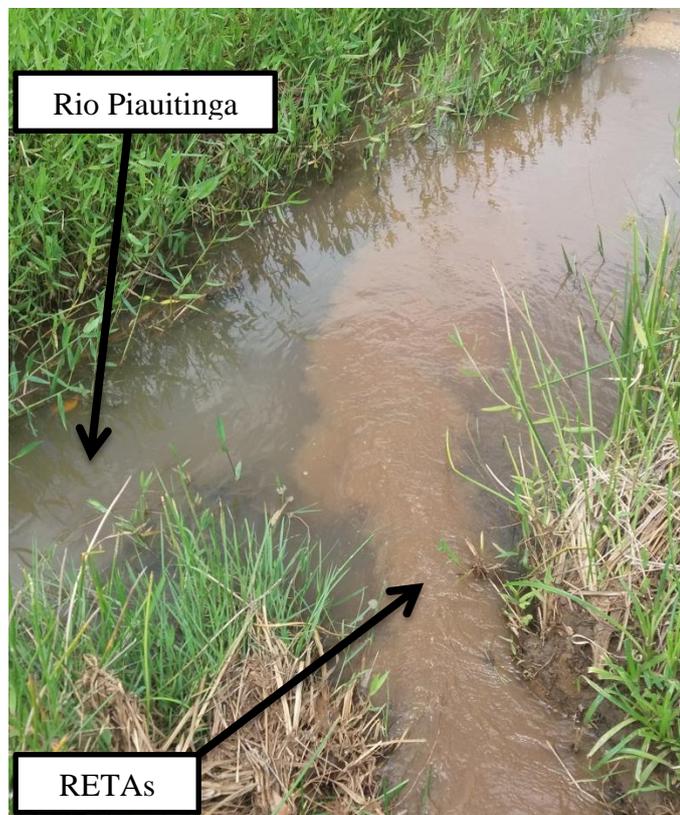
A ETA-Piauitinga emprega como agente químico para a etapa de coagulação o sulfato de alumínio. Os resíduos gerados pela estação, essencialmente provenientes da fase de decantação e limpeza dos filtros são lançados, atualmente, nas proximidades da estação, onde há um córrego que percorre em direção ao Rio Piauitinga. A Figura 6 apresenta uma foto de satélite com o ponto representativo de lançamento, linha de percurso (em vermelho) e ponto de encontro do efluente da ETA com o manancial, enquanto que a Figura 7 apresenta o encontro do efluente proveniente da ETA com o Rio Piauitinga, onde claramente é possível ver a diferença de turbidez no rio antes e após o lançamento.

Figura 6 – Localização do lançamento dos resíduos da ETA-Piauitinga



Fonte: Google Earth (2016).

Figura 7 – Ponto de encontro dos RETAs da ETA-Piauitinga com o Rio Piauitinga.



Fonte: O autor (2016).

4.3 RIO PIAUITINGA

A sub-bacia hidrográfica do rio Piauitinga está inserida na bacia do rio Piauí (Figura 8), ambas localizadas na região sul do Estado de Sergipe, compreende os municípios de Estância, Salgado, Boquim e Lagarto, sendo responsável pelo abastecimento de água, uso doméstico, industrial e agrícola destes municípios. A sub-bacia do Rio Piauitinga ocupa uma área de 411,98 km², perímetro de 121,22 km e extensão do curso do principal de 59,28 km (MOREIRA, 2008).

Figura 8 – Localização da sub-bacia do rio Piauitinga



Fonte: Santos (2016).

De acordo com as classes de usos da água dispostas na resolução CONAMA nº 357/2005, o rio Piauitinga, desde a nascente até a sua confluência com o rio Piauí é enquadrado como rio de água doce, classe 2, com os seguintes múltiplos usos: dessedentação de animais, irrigação, abastecimento público.

4.4 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DA ETA-PIAUITINGA

A operação da ETA se dá pela chegada de água bruta no sistema através de uma adutora de ferro fundido com extensão de 190 m e diâmetro de 400 mm. Dentro da ETA a

água bruta é conduzida até uma calha Parshall que funciona como ponto de mistura rápida, onde o coagulante, sulfato de alumínio em solução, é adicionado (Figura 9). Além de funcionar como misturador rápido para a dosagem de coagulante na água bruta, a calha Parshall também possui a função de medir a vazão.

Figura 9 – Calha Parshall - Ponto de aplicação do sulfato de alumínio.



Fonte: O autor (2016).

Com isso, a água dita “coagulada”, segue através do canal de água coagulada para os floculadores, que por sua vez, realizam a mistura lenta (Figura 10). A mistura lenta é realizada por dois floculadores hidráulicos de chicanas horizontais do tipo Alabama, constituídos cada um por 18 câmaras individuais em série, sendo o fluxo entre elas efetuado por orifícios circulares situados no fundo de cada uma das câmaras.

Figura 10 – Flocladores tipo hidráulico de chicanas horizontais



Fonte: O autor (2016).

A água floclada é encaminhada para os decantadores. A ETA conta com dois decantadores de alta taxa, divididos em duas câmaras individuais, que possuem cada uma um volume total de 327 m³ (Figura 11). A água decantada é coletada por canaletas, dispostas junto às paredes de cada câmara, e encaminhada para os filtros.

A remoção do lodo é efetuada manualmente por drenagem e lavagem dos decantadores, e o lodo depositado no fundo é conduzido por gravidade através de um emissário com ponto de descarga final no Rio Piauitinga. Semanalmente, é realizada a descarga dos decantadores.

Figura 11 – Decantadores da ETA-Piauitinga

Fonte: O autor (2016).

A etapa de filtração conta com quatro filtros rápidos de gravidade de fluxo descendente, de camada única de areia (Figura 12). O fundo falso é constituído por blocos “Leopold” onde se apoia a camada suporte composta de seixos de diversas granulometrias. A lavagem dos filtros é feita somente com água no sentido ascensional (retrolavagem) e tem a duração em média de 7 minutos, gastando em cada lavagem aproximadamente 200 m³. A água utilizada para a limpeza provém de um reservatório elevado com volume total aproximado de 200 m³.

Figura 12 – Filtros rápidos descendentes da ETA-Piauitinga



Fonte: O autor (2016).

De acordo com as informações cedidas pelos funcionários da ETA-Piauitinga, atualmente, apenas dois filtros encontram-se em operação, e a lavagem dos mesmos ocorre à medida que os filtros vão perdendo carga e a água decantada ultrapassa a calha vertedora, sendo efetuadas em dias alternados.

Atualmente, não há sistema de recuperação de água de lavagem, portanto, todo o volume utilizado na retrolavagem dos filtros é destinado ao rio Piauitinga, despejado nas proximidades da estação juntamente com o lodo do decantador, formando um córrego, sendo assim, despejado à jusante da captação sem qualquer tratamento.

A ETA utiliza atualmente a pré, inter e pós cloração. Para a pré cloração é utilizada a pastilha de dicloroisocianurato de sódio em solução, e na inter e pós cloração é utilizado o cloro gasoso. A razão desta forma de aplicação é diminuir a quantidade de Trialometano - THMs e riscos com as cianobactérias. Como os THMs são formados com a reação do cloro com os precursores contidos na água bruta (ácidos húmicos), se utiliza o cloro somente depois de efetuada a remoção da maior parte destas substâncias nas etapas de floculação/sedimentação. Assim, a dosagem intermediária entra no canal de água decantada antes da entrada nos filtros. O armazenamento de cloro se faz em cilindros de 900 kg, de onde o gás é transferido para abastecer os dois cloradores existentes utilizados na inter e pós cloração.

A fluoretação é feita à base de fluorsilicato de sódio em solução saturada deste sal, e a aplicação desta solução de flúor é feita na entrada do reservatório de contato, que possui um volume aproximado de 270 m³.

4.5 Monitoramento da ETA-piauitinga

Para a realização deste trabalho foi realizado o levantamento dos dados de monitoramento da ETA-Piauitinga através dos relatórios mensais de operação disponibilizados pela Companhia de Saneamento de Sergipe-DESO, que faz o monitoramento contínuo de suas estações. Também foram utilizados os dados de monitoramento da etapa de caracterização físico-químico de amostras dos resíduos gerados pelas unidades de decantação e filtração.

4.6 Caracterização dos resíduos gerados no tratamento

Os resíduos estudados foram obtidos a partir da descarga dos decantadores e da água de lavagem dos filtros da ETA-Piauitinga, que utiliza como coagulante primário o sulfato de alumínio.

Para a caracterização do lodo proveniente do decantador, foi realizada uma coleta de uma amostra no Decantador 1 da estação, mais especificamente coletada do fundo do decantador com o auxílio do operador que se encontrava na estação no momento da coleta. A amostra de lodo foi caracterizada conforme os parâmetros dispostos na Tabela 9.

Tabela 9 – Parâmetros de caracterização do lodo proveniente do decantador

Parâmetros	Unidades
pH	-
Turbidez	NTU
Cor	U.C.
Sólidos Sedimentáveis (SS)	mL/L
Alumínio	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg/L
Demanda Química de Oxigênio (DBO)	mg/L
Sólidos Suspensos Totais (SST)	mg/L

Para a caracterização da água de lavagem dos filtros, foi realizada uma coleta de três amostras (Figura 13) e em apenas um filtro da estação, sendo que o ponto amostral era localizado na calha de recolhimento da água de lavagem. Com o objetivo de que a água da retrolavagem não interferisse nas análises, estabeleceu-se um tempo de 30 segundos, após iniciado o processo de limpeza considerado a partir do transbordo da água pelo tanque, para a coleta da primeira amostra, sendo esta denominada de Amostra 1. O tempo estabelecido de 30 segundos foi considerado suficiente para que a amostra se apresentasse de forma homogênea. As amostras seguintes, denominadas de Amostra 2 e Amostra 3 foram coletadas nos tempos de 3 minutos e 6 minutos, respectivamente, sendo que em 8 minutos era o término do processo de limpeza do filtro. Essas amostras foram caracterizadas conforme os parâmetros contidos na Tabela 10.

Tabela 10 - Parâmetros de caracterização da água de lavagem dos filtros

Parâmetros	Unidades
Turbidez	NTU
Cor	U.C.
Sólidos Totais (ST)	mg/L
Sólidos Suspensos Totais (SST)	mg/L

Figura 13 – Amostras coletadas durante a lavagem do filtro



Fonte: O autor (2016)

Pela Figura 13 é possível verificar a diferença na coloração e opacidade das amostras, claramente aquelas coletadas no início do processo de limpeza do filtro possuem um aspecto mais turvo e escuro, característico da maior presença de material suspenso quando comparado as demais.

A etapa de caracterização foi realizada em laboratório específico de controle da qualidade de águas da DESO. A metodologia de medição foi a seguinte:

- Turbidez: Determinação de Turbidez – Método Nefelométrico (SMEWW 21º ed. 2005, Método 2130 B).

- Cor: Método da comparação visual (SMEWW, 22ª Edição, Método 2120 B).

- pH: Método eletrométrico (SMEWW, 22ª Edição, Método 4500 B).

- Sólidos Totais: Determinação de sólidos totais por secagem a 103 - 105°C (SMEWW, 22ª Edição, Método 2540 B).

- Sólidos Suspensos Totais: Gravimetria (SMEWW, 22ª Edição, Método D e E).

- Sólidos Sedimentáveis: Método volumétrico com cone de Imhoff (SMEWW, 22ª Edição, Método 2540 F).

- Alumínio: Método colorimétrico com Eriocromo Cianina R (SMEWW, 22ª Edição, Método 3111 B).

- Demanda Bioquímica de Oxigênio: Método Respirométrico – Oxitop (SMEWW, 22ª Edição, Método 5210 D).

Demanda Química de Oxigênio: Método Refluxo Fechado Colorimétrico (SMEWW, 22ª Edição, Método 5220 B)

5 RESULTADOS

5.1 Estimativa de produção de sólidos

Como a ETA-Piauitinga não possui dados sobre a geração de lodo, foi necessário estimar a produção de sólidos na estação com base nos dados dos relatórios mensais de operação disponibilizados pela DESO. Entretanto, não havendo uma série histórica de dados dos últimos anos, foram utilizados os relatórios mensais de operação da estação de apenas quatro meses sazonais, referentes ao período de estiagem (Janeiro e Fevereiro) e ao período de alta intensidade pluviométrica (Junho e Agosto) do ano de 2016.

Para a estimativa de produção de sólidos foi utilizado os dados de cor, turbidez e dosagem de coagulante, fornecidos pelos relatórios mensais de operação da ETA, sendo utilizado o valor médio referente aos meses disponíveis (Tabela 11).

Tabela 11 – Valores médios mensais dos parâmetros de controle da água bruta e água tratada da ETA-Piauitinga

Mês	Vazão (m ³ /dia)	Dosagem de coagulante (mg/L)	Turbidez (NTU)		Cor (UH)	
			Água Bruta	Água tratada	Água Bruta	Água tratada
Janeiro	17.568	34,9	16,2	0,3	324,7	4,27
Fevereiro	17.741	22,0	133,1	2,5	2,5	0,04
Junho	18.050	31,2	9,2	0,2	208,9	5,00
Agosto	18.196	20,1	3,5	0,3	94,2	5,00
Média	17.889	27,0	40,5	0,8	157,55	3,58

Uma das possibilidades de corrigir uma eventual formação de flocos nas unidades de clarificação é recircular o lodo proveniente do tanque de decantação para agir como um auxiliar de floculação. Neste caso, conhecer às condições da água bruta é essencial para essa avaliação, mas especificamente as condições da turbidez da água bruta. Para valores relativamente baixos de turbidez, há certa dificuldade em controlar o tratamento, pois há dificuldade para aglomeração dos flocos em um meio com reduzida quantidade de material dissolvido, com isso, a adição do agente coagulante será maior, e assim o lodo gerado nestas conjunturas apresenta-se com elevada carga do agente coagulante. A Tabela 12 reflete essa tendência do consumo de coagulante em função da qualidade da água bruta.

Com os valores da Tabela 11 foi possível estimar, através das fórmulas elaboradas por Richter (2001), equações 5 e 6, os valores para os parâmetros de massa precipitada de secos (S), de massa de sólidos secos por unidade de tempo (Ms) e de massa de lodo úmido (Mu), apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Estimativa da quantidade de sólidos produzidos na ETA-Piauitinga

Vazão (m ³ /dia)	S (kg SST/m ³)	Ms		Mu		Mu/V (%)
		(kg/dia)	(t/ano)	(kg/dia)	(t/ano)	
17.889	0,09	1.630,61	596,80	32.612,16	11.936,05	0,18

Para a estimativa da Massa de lodo úmido foi considerado que a massa de lodo seco, calculada na etapa anterior, possui 5% de umidade. A relação entre a quantidade gerada de lodo úmido e o volume de água tratada (Mu/V) foi calculada a fim de validar a metodologia adotada, uma vez que, conforme Carvalho (2000), esta relação deve estar entre 0,02 a 5%, sendo no caso, considerada válida a estimativa feita no estudo.

Portanto, de acordo com a Tabela 12, o valor da produção de lodo da ETA referente foi de 11.936,05 ton/ano.

5.2 Caracterização dos resíduos da ETA-Piauitinga

5.2.1 Caracterização da água de lavagem dos filtros

As amostras de água de lavagem do tanque de filtração foram obtidas através de coletas durante a operação de limpeza do filtro e caracterizadas em laboratório próprio da DESO. Os resultados da caracterização encontram-se dispostos na Tabela 13.

Tabela 13 – Caracterização das amostras de água de lavagem de filtro

Parâmetros	Unidade	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média
Sólidos Totais (ST)	mg/L	714,0	226,0	188,0	376,0
Sólidos Suspensos Totais (SST)	mg/L	37.550	4.118	30,0	13.899
Turbidez	NTU	306,0	21,9	9,1	112,3
Cor	UC	528,0	74,7	33,1	211,9

Observando-se isoladamente os valores da Tabela 13, para cada parâmetro analisado, já era esperado que a amostra coletada no início do processo de retrolavagem dos filtros (Amostra 1) apresenta-se valores mais elevados, uma vez que, é durante os instantes

inicias da limpeza onde há o maior desprendimento de material adsorvido pelo meio filtrante, e durante o processo esses valores vão reduzindo gradativamente, como são observados nas Amostras 2 e 3. Richter (2001) definiu uma faixa bem ampla entre 40 a 1.000 mg/L esperada para estar o valor do parâmetro ST em amostras de água de lavagem dos filtros de uma ETA. Assim, segundo este autor as medições realizadas para as amostras deste estudo estão de acordo com o esperado.

Os valores de SST obtidos estão mais elevados que a faixa de valores encontrada na literatura por Assis (2014), 56 - 532 mg/L, em ETAs que utilizam o sulfato de alumínio como coagulante. Como já mencionado, as características dos resíduos variam bastante de uma ETA para outra, devido às peculiaridades de cada estação como o tipo de tratamento e operação da ETA, bem como as características da água bruta e os produtos químicos usados, tais aspectos podem justificar o fato de os valores encontrados estarem fora da faixa da literatura.

Em relação ao valor médio da turbidez, o mesmo se encontra coerente em comparação aos valores relatados por Oliveira *et al.* (2012), que estudaram três ETAs encontrando valores de turbidez para a água de lavagem dos filtros entre 141 – 151 NTU. No entanto, esses valores estão acima do permitido pela Resolução CONAMA 430/2011 que estipula o valor máximo permitido de 100 NTU para lançamento de efluentes em mananciais. Verificando dessa forma que a ETA-Piauitinga necessita de modificações para atendimento ambiental.

5.2.2 Caracterização do lodo de decantador

A caracterização do lodo gerado no decantador foi realizada mediante as análises de pH, Turbidez, Cor, Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Sedimentáveis (SS), Alumínio, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Os resultados encontrados estão expostos na Tabela 14.

Tabela 14 – Valores dos parâmetros do decantador da ETA-Piauitinga

Parâmetros	Unidades	Resultados
pH	-	7,40
Turbidez	NTU	12.450
Cor	UC	8.200
Sólidos Suspensos Totais (SST)	mg/L	98.470
Sólidos Sedimentáveis (SS)	mL/L	950
Alumínio	mg/L Al	64,60
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg/L	320
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	mg/L	1.460

De acordo com a Tabela 14, é possível observar que os parâmetros associados à presença de sólidos são os mais elevados devido à natureza do tratamento da ETA, que visam à remoção de material particulado dissolvido da água bruta por meio de agentes coagulantes.

Os valores obtidos para o pH e DQO encontram-se dentro da faixa de valores descrita na literatura por Richter (2001) de 6 a 8 e 30 a 5.000 mg/L, respectivamente. No entanto, a faixa de valores determinada por Richter (2001) para o parâmetro DBO é de 30 a 300 mg/L, estando o valor obtido na análise deste estudo um pouco acima da faixa relatada, podendo tal fato ser justificado mediante às peculiaridades da estação e outros fatores, como as condições climáticas que afetam a água bruta.

Ainda de acordo com a Tabela 14, obteve-se uma relação entre os parâmetros DQO e DBO de 4,56, valor considerado elevado conforme Souza (2009), indicando assim, a predominância de material não-biodegradável. Segundo Richter (2001), o lodo proveniente de ETAs que empregam o sulfato de alumínio como coagulante são caracterizados por apresentarem baixa degradabilidade e pH próximo ao neutro. Tais características podem ser confirmadas com os dados apresentados na Tabela 14.

De acordo com os valores supracitados na Tabela 14 e comparando-os com os valores permissíveis da Resolução CONAMA 430/2011, o valor obtido para os sólidos sedimentáveis encontra-se acima do limite permissível pela Resolução citada (1 mL/L).

Outro parâmetro de interesse é a concentração de alumínio, esse elemento é conhecido por desempenhar importante papel na adsorção/precipitação de fósforo em solução. Assim materiais ricos em alumínio são capazes de promover um abatimento do fósforo a depender do pH da solução com favorecimento para meio ácidos, podendo ser aplicados no tratamento de esgotos, que apresentam, normalmente, altas concentrações de fósforo (URANO, K. e TACHIKAWA, 1991). Assim, como alternativa ao direcionamento do lodo

produzido pelo decantador, o seu encaminhamento para ETE auxiliaria no tratamento de nutrientes do esgoto, especificamente em relação à redução do fósforo, sem o comprometimento da carga orgânica do efluente. De fato, pela Tabela 14, observa-se a elevada concentração de alumínio presente na amostra de lama oriunda o decantador, o que segundo estudos favoreceriam a eficiência das ETEs na etapa de remoção de nutrientes do efluente.

5.3 Alternativas de usos dos resíduos da ETA-Piauitinga

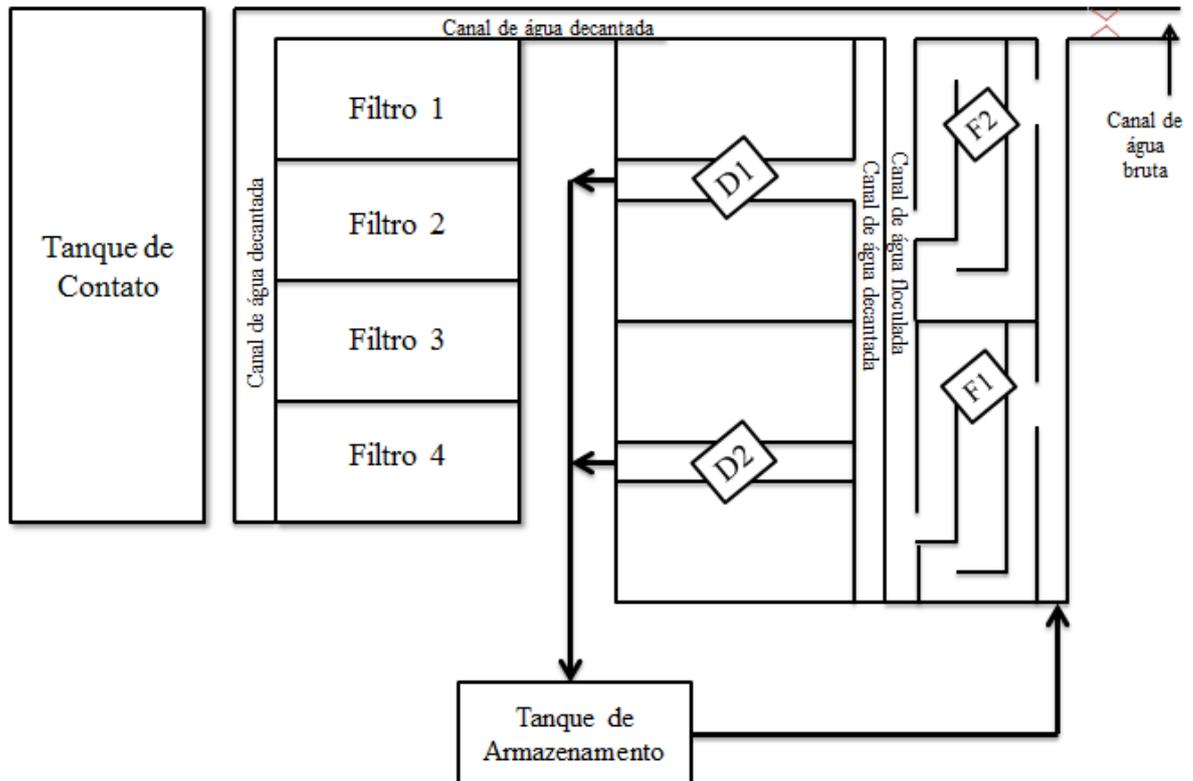
Para esse estudo foram consideradas três alternativas de direcionamento do lodo gerado na estação de estudo. A primeira alternativa considera a possibilidade de recirculação do lodo proveniente apenas dos decantadores para os flocculadores, a segunda alternativa, emprega o direcionamento dos RETAs para um tanque de regularização e posteriormente, para um adensador, e a terceira alternativa, emprega a desidratação do lodo em leito de secagem e encaminhamento para aterro sanitário. A seguir, será descrito a metodologia adotada em cada alternativa.

- Alternativa 1: Recirculação do lodo proveniente dos decantadores

Para viabilizar o aproveitamento do lodo, este estudo realizou-se um dimensionamento do tanque de armazenamento dos efluentes gerados na ETA.

Como o processo de retirada do lodo do tanque de decantação ocorre atualmente uma vez por semana, a recomendação para o seu uso no tanque de flocculação seria por meio de bateladas, com o uso de um tanque de armazenamento de onde seria direcionado quando necessário para o tanque de flocculação. No entanto, devido à possível presença de microrganismos no material decantado, sugere-se o seu reaproveitamento imediato ou emprego de agentes desinfectantes para prevenção contra organismos patogênicos indesejados na água. A Figura 14 apresenta um possível lay-out da ETA para essa mudança.

Figura 14 – Sugestão de alteração para o lay-out da ETA com o reúso do lodo proveniente do Decantador



Para o cálculo de dimensionamento do tanque de armazenamento do lodo para reúso nos flocculadores foi considerado o tempo de detenção hidráulico de 7 dias, tempo referente entre uma limpeza e outra nas unidades de decantação, atualmente empregado na ETA-Piauitinga. Além da massa de lodo úmido estimado (M_u) de 32.612,16 kg/dia, foi admitido que a densidade do lodo é de 1,1 kg/cm³. Assim teremos que o volume (V) do tanque de armazenamento do lodo será:

$$V = \frac{32.612,2 \text{ kg}}{1,1 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}} \times 7 \text{ dias} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1 \times 10^6 \text{ cm}^3} = 207,5 \text{ m}^3$$

Considerando que a altura do tanque seja em torno de 5 m e que o tanque seja no formato cilíndrico, teremos que o raio (R) do reservatório será:

$$V = 207,5 \text{ m} = \pi \times r^2 \times 5$$

$$r = 3,6 \text{ m} \cong 4,0 \text{ m}$$

Este tipo de modificação na estação é considerado de baixo custo, e o aumento da eficiência do tratamento faz com que a relação custo/benefício seja atraente. Em estudo realizado por Pousa (2015) que avaliou o redirecionamento do lodo gerado no decantador para a unidade de floculação em uma ETA, em condições onde a água bruta possuía baixa turbidez, foi encontrada uma melhora de clarificação do decantador em torno de 70%, medido em função da turbidez, além de obterem um aumento de 20% na capacidade de tratamento devido ao aumento da velocidade de decantação.

- Alternativa 2: Direcionamento dos RETAs para um tanque de regularização e posteriormente, um adensador.

Para essa alternativa, este estudo sugere a criação de dois elementos para o tratamento do efluente gerado pelo processo de limpeza da ETA. Um tanque de regularização para recebimento do efluente proveniente dos filtros e do decantador, e um adensador.

Para o dimensionamento do tanque de regularização foi utilizado alguns dados da ETA-Piauitinga:

- Vazão de lavagem dos filtros = 197,3 m³/dia;
- N° de lavagens por dia = 1;
- N° de filtros = 2;
- N° de decantadores = 2;
- Descarga do decantador = 959,4 m³/semana;

Adotando-se como ponto crítico do projeto a soma do efluente do filtro, de limpeza diária, com o descarte semanal do decantador. Assim, o volume requerido para o tanque de regularização seria aproximadamente de 1.157 m³, ou para atender com folga um volume de 1.330 m³ (15 % de fator de segurança).

Com isso, a vazão de regularização (Q_r) que deverá atender este efluente admitindo um encontro simultâneo dos descartes é de:

$$Q_r = 1.330 \frac{m^3}{dia} \times \frac{1 dia}{86400 s} \times \frac{1000 L}{1 m^3} = 15,39 \frac{L}{s}$$

Assim o sistema de clarificação e adensamento para este efluente seria determinado adotando uma taxa de aplicação superficial (T_s) igual a 12 m³/m².dia, e a área de decantação necessária seria de:

$$\text{Área}_{dec} = \frac{1.330 \text{ m}^3/\text{dia}}{12 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}} \cong 110 \text{ m}^2$$

Para um tanque de regularização retangular onde o comprimento é quatro vezes a largura ($C=4L$) as dimensões do tanque seriam:

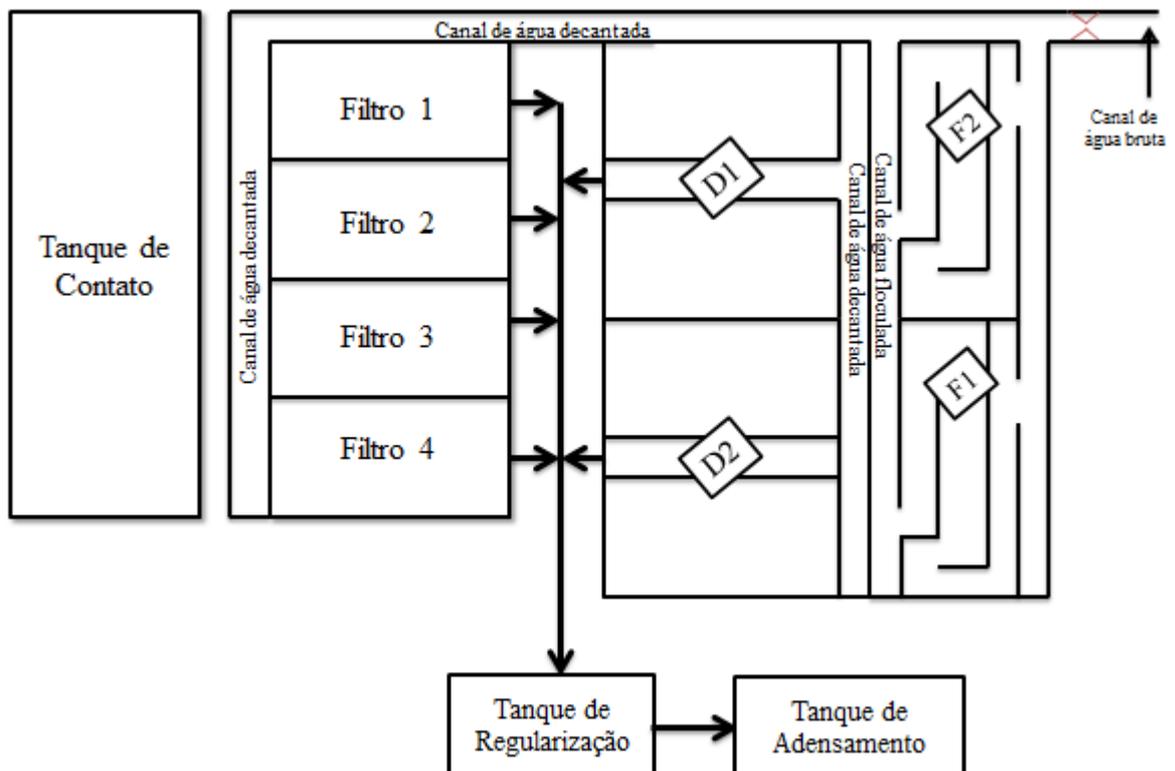
$$\text{Área}_{tanque} = C \times L = 4L^2 = 110 \text{ m}^2$$

$$L \cong 5 \text{ m}$$

$$C = 22 \text{ m}$$

A Figura 15 apresenta uma possível alteração do lay-out para a ETA de forma a incluir um tanque de regularização que receberia o efluente das etapas de decantação e de filtração. O tanque de regularização está interligado ao adensador, e a água clarificada no adensador poderá ser recirculada na ETA ou disposta no manancial sem problemas ambientais.

Figura 15 - Possibilidade de modificação do *lay-out* da ETA-Piauitinga considerando a inserção de um tanque de regularização e um adensador.



- Alternativa 3: Desidratação do lodo em leito de secagem e encaminhamento para aterro sanitário

O leito de secagem foi escolhido como método de desidratação por se tratar de um método mais barato, levando em conta também, as condições climáticas da região. Neste método a desidratação ocorreria por meio natural e não mecanizado, no entanto, um gasto frequente seria com o aterro, que cobraria para cada quilo de lodo desidratado.

Uma alternativa para reduzir os gastos com essa disposição em solo seria viabilizar a co-disposição do lodo seco gerado pela ETA, de baixo teor de material orgânico, para incorporar a massa de solo necessária e obrigatória por lei que o aterro deve dispor diariamente sobre o lixo compactado, denominada de etapa de cobertura.

Em estudo realizado por Menezes (2006) foi verificado que amostras de lodo proveniente de duas ETAs foram consideradas aptas, após secagem, para serem reaproveitadas na etapa de cobertura dos resíduos em aterro sanitário, pois apresentavam capacidade de lixiviação de acordo com o estipulado pela NBR 10.005 e não apresentaram níveis de periculosidade para o meio ambiente terrestre ao serem incorporados ao solo de cobertura. No entanto, são necessários estudos estruturais detalhados para viabilizar a operações de suporte das camadas do aterro.

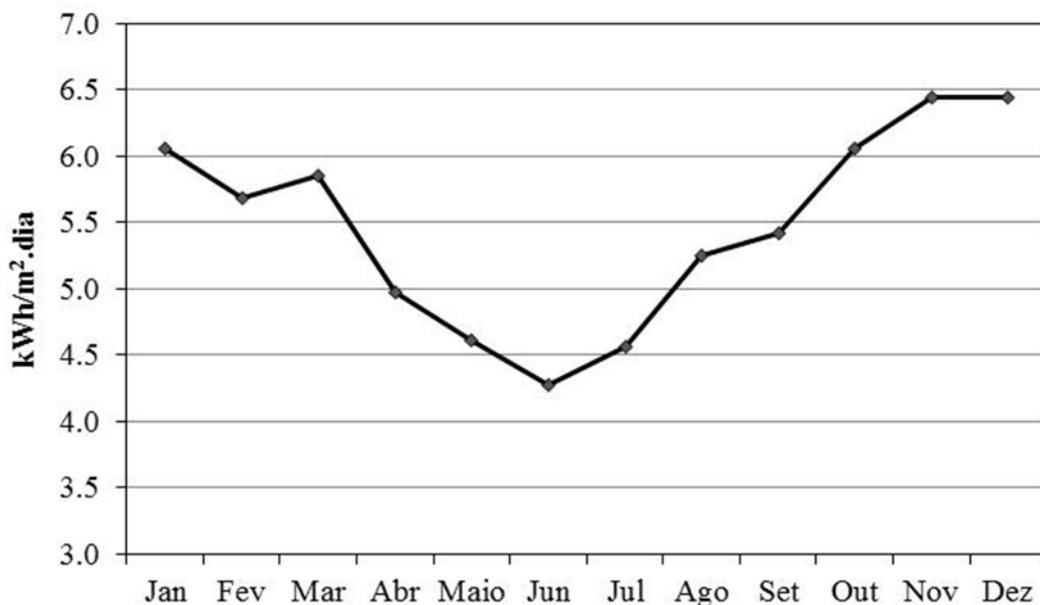
De outra maneira, segundo Richter (2001), lodos provenientes de ETA com baixo teor de sólidos e a base de sulfato de alumínio desidratam lentamente quando a pressão aplicada sobre ele é elevada, sendo indicados neste caso, os leitos de secagem que consiste essencialmente de um sistema de decantação, percolação (drenagem) e evaporação. Assim, caso opte-se pelo seu uso a área requerida é relativamente alta, pois leitos tradicionais são constituídos de tanques rasos apresentando como meio filtrante uma camada de brita recoberta com duas ou três camadas de areia. No entanto, o processo inicia-se com a fase de desaguamento do lodo, que consiste em separar a parte líquida da parte sólida, por percolação, sendo que para o fim do processo o lodo tem que alcançar uma umidade próxima a 80%. Depois a separação do líquido contido no lodo para a atmosfera se dará de forma lenta, por evaporação.

Para os cálculos do leito de secagem foi utilizado o valor da massa seca (M_s) de 1630,61 kg/dia produzida pela ETA (Tabela 12) e considerado um tempo de desidratação de 4 dias e uma carga de sólido aplicada por unidade de área igual a 40 kg de SST/m² (adotado) valor empregado em projetos de estações que varia entre 15 – 50 kg de SST/m². Assim, a área necessária para o leito de secagem é:

$$\text{Área} = \frac{1630,61 \frac{\text{kg}}{\text{dia}} \times 4 \text{ dias}}{40 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}} \cong 163 \text{ m}^2$$

Como o desaguamento em leito de secagem depende das condições climáticas, foi avaliada a distribuição da radiação solar da região. A Figura 16 apresenta os dados de incidência solar em Aracaju ao longo dos meses.

Figura 16: Irradiação solar para Aracaju-SE. Lat. 10,92° S, Long. 37,07° O. Linha tracejada: valor médio de radiação



Fonte: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito

O perfil de radiação é o típico do hemisfério sul, onde há menores incidências da luz do sol no meio do ano, meses de inverno, e maiores no fim e início do ano, meses de verão. O valor médio da incidência em Aracaju, segundo os dados obtidos, é de 4,7 kW.h/m².dia (equivalente a 195,8 W/m²).

Em estudo realizado por Melo (2006) que mediu a radiação da cidade de Campina Grande –PB, foi verificado uma incidência média do sol nesta região de 186 W/m² onde os autores avaliaram a desidratação do lodo em leitos de secagem encontrando uma taxa de evaporação de 3,6 mm/dia, equivalente a uma evaporação de 53 kg/m². Tomando esses valores para este estudo, verifica-se que a área do leito de secagem de 163 m² possuiria uma capacidade de evaporação de 580 L/dia. Assim, verifica-se, como primeira análise, um

potencial de aproveitamento solar para a secagem natural do lodo para a região empregando leitos de secagem, viabilizando, nesse aspecto, a alternativa escolhida.

6 CONCLUSÕES

Diante da atual situação crítica relacionada aos recursos hídricos e à poluição crescente dos mesmos, a gestão dos resíduos em uma ETA torna-se de suma importância para melhoria da qualidade ambiental e manutenção dos recursos hídricos. Com isso, é visível a importância do tratamento e disposição final ambientalmente correto desses resíduos.

É preocupante o lançamento inadequado dos resíduos da ETA-Piauitinga no Rio Piauitinga. De fato, visualmente verifica-se uma alteração na coloração da água do rio, estando-a menos translúcida devido ao aumento da turbidez que é um reflexo do descarte de aproximadamente 12 toneladas de sólidos totais por ano que a ETA realiza neste manancial.

O Art. 16º da Resolução CONAMA nº 430/2011 diz que: “Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução”. Levando em consideração a atual forma de disposição dos RETAs da ETA-Piauitinga, considera-se o mesmo um resíduo de caráter poluidor, uma vez que suas características podem alterar as características do corpo receptor.

As alternativas mitigadoras aplicáveis apresentadas nesse trabalho carecem de estudos mais aprofundados para comprovar a viabilidade econômica, ambiental e logística das mesmas. Todas as alternativas apresentadas em tese são aplicáveis, entretanto, é necessário um estudo mais aprofundado para garantir a eficiência da solução escolhida.

Portanto, pode-se concluir que diante dos dados apresentados neste trabalho relacionados a produção diária, suas características, a atual forma de disposição dos resíduos gerados na ETA-Piauitinga, e as diversas possibilidades de disposição e aproveitamento, os mesmo devem ser encarados como um resíduo com alto potencial de reciclagem.

7 REFERÊNCIAS

1. ASSIS, L. R. de **Avaliação do impacto em corpos d'água devido ao lançamento de resíduos de uma estação de tratamento de água de Juiz de Fora – MG**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) - Faculdade de Engenharia da UFJF, Juiz de Fora, 2014.
2. ACHON, C. L.; SOARES, L. V.; MEGDA, C. R. Impactos ambientais provocados pelo lançamento in natura de lodos provenientes de estações de tratamento de água. In: **23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 23º, 2005, Campo Grande. 2005. 9 p.
3. ANDREOLI, C. V. (coord.) **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. 1ª ed. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2006. 417 p. Projeto PROSAB, 2006.
4. ANDREOLI, C. V. (coord.) **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. 1ª ed. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001. 282 p. Projeto PROSAB, 2001.
5. BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. NBR 10.004, de 30 de maio de 2004: **Resíduos Sólidos: Classificação**. Rio de Janeiro. 71 p. 2004.
6. BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 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. Publicado no Diário Oficial da União - DOU de 9.1.1997.
7. BRASIL. Lei Federal nº 9,605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial da União - D.O.U. de 13.2.1998 e retificado no DOU de 17.2.1998.

8. BRASIL. Ministério da Saúde – Portaria nº 2.914, 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Publicado no Diário Oficial da União - DOU de 16.05.2011.
9. CARVALHO, E. H. **Disposição de resíduos de estações de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto com decantação primária**. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.
10. CENTRO DE REFERÊNCIA PARA A ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO – CRESESB, 2000. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/cresesb.htm>>. Acesso em 25 de novembro de 2016.
11. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e técnicas de tratamento e disposição dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. Xª ed. São Carlos, SP: Editora LDiBe LTDA, 2012.
12. DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. 1ª ed. São Carlos, SP: Editora LDIBE LTDA, 878 p., vol. I, 2008a.
13. DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. 2ª ed. São Carlos, SP: Editora LDIBE LTDA, 682p., vol. II, 2008b.
14. DI BERNARDO, L. (coord.) **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. 1 ed. São Paulo: ABES, RiMa, 2003.498 p.: il. Projeto PROSAB
15. FRANCISCO, A. A.; POHLMANN, P. H. M.; FERREIRA, M. A. Tratamento convencional de águas para abastecimento humano: Uma abordagem teórica dos processos envolvidos e dos indicadores de referência. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2º, 2011. Londrina, PR. 2011. 9p.
16. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008.
17. JANUÁRIO, G. F. e FERREIRA FILHO, S. S; Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da Região

- Metropolitana de São Paulo. Engenharia Ambiental e Sanitária, v. 12, São Paulo, 2007.
18. KATAYAMA, V. T. **Quantificação da produção de lodo de Estações de Tratamento de Água de ciclo completo: Uma análise crítica.** 2012. 119 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
 19. LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 3ª ed. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010.
 20. MARGEM, J. I. **Caracterização e incorporação de lodo de decantação de estação de tratamento de água (E.T.A.) em cerâmica vermelha.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2008.
 21. MARGUTI, A. L. **Efeito do recebimento de lodos oriundos de estações de tratamento de água nos processos de tratamento de esgotos por lodos ativados convencional.** 2012. 222 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica de Engenharia Hidráulica e Ambiental, São Paulo, 2012.
 22. MELO, A. S. de **Contribuição para o dimensionamento de leitos de secagem de lodo.** 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, Campina Grande, 2006.
 23. MENEZES, M. de P. **Gerenciamento do resíduo sólido oriundo de estação de tratamento de água e estudo da disposição no meio ambiente.** 2006. 79 p. Trabalho de Conclusão de Curso – CEFET/GO, Goiânia, Goiás, 2006.
 24. MOREIRA, F. D. **Geotecnologia aplicada à sub-bacia hidrográfica do rio Piauitinga e suas relações ambientais.** 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Núcleo de Pós-Graduação e Pesquisa, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2010.
 25. MOREIRA, R. C. A.; GUIMARÃES, E. M; BOAVENTURA, G. R.; MOMESSO, A. M.; LIMA, G. L. Estudo geoquímico da disposição de lodo de estação de tratamento

- de água em área degradada. Química Nova, São Paulo, n. 8, vol. 32, p. 2085 – 2093. 2009.
26. MOREIRA FILHO, J. C.; VIANNA, M. R. Tratamento de rejeitos de estações de tratamento de água: Métodos de tratamento utilizados e destino do lodo produzido. Construindo, Belo Horizonte, v. 4, 2012.
27. MOURA, J. Relatório da ONU revela que 10% da população mundial ainda não tem acesso à água potável tratada. [Online] Disponível em <<http://oglobo.globo.com/sociedade/sustentabilidade/relatorio-da-onu-revela-que-10-da-populacao-mundial-ainda-nao-tem-acesso-agua-tratada-15646088>> Acesso em 24 de julho de 2016.
28. OLIVEIRA, C. A. de; BARCELO, W. F.; COLARES, C. J. G.; Estudo do reaproveitamento da água de lavagem de filtro na ETA-Anápolis/GO. In: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Goiânia, GO: IBEAS, 2012.
29. PEREIRA, S. L. de M. **Características físicas, químicas e microbiológicas do lodo das lagoas da ETA Gramame**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.
30. POUSA, A. N. **Processo de Coagulação e Floculação em Estação de Tratamento de Água: Otimização Através da Utilização de Reciclo de Lodo do Fundo do Clarificador**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Santa Cecília, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Santos, São Paulo, 2015.
31. REALI, M. A. P. (coord). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. 1ª ed.. Rio de Janeiro: ABES, 1999, 233 p. Projeto PROSAB.
32. RIBEIRO, F. L. M. (2007). **Quantificação e caracterização química da ETA Itabirito - MG**. Dissertação (mestrado). Pró- água, Universidade de Ouro Preto.
33. RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. A. **Tratamento de água**. 1ª ed. São Paulo, SP: Editora Edgard Blücher, 1991.

34. RICHTER, C. A. Tratamento de lodos de estações de tratamento de água. Edgard Blucher, 2001.
35. SANTOS, R. B. dos **Impactos das mudanças climáticas e do uso da terra nas perdas de solo da bacia hidrográfica do rio Piauítinga-SE**. 2016. 59 f. Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2016.
36. SCALIZE, P. S. **Disposição de resíduos gerados em uma estação de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto**. 2003. 171 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
37. SOUZA, L. M. **Estudo da aplicação do resíduo de decantador de estação de tratamento de água como auxiliar de floculação no tratamento de água**. 2011. 145 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.
38. SOUZA, M. R. **Estudo do lodo gerado na estação de tratamento de água de Buíque – PE: caracterização, quantificação e identificação de oportunidades de minimização dos resíduos**. 2009. 145 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, Universidade Federal de Sergipe, 2009.
39. TSUTIYA, M. T.; HIRATA, A. Y. Aproveitamento e Disposição Final De Lodos De Estações De Tratamento De Água No Estado De São Paulo. In: 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, João Pessoa: ABES, 2001.
40. UNESCO. Gestão mais sustentável da água é urgente, diz relatório da ONU. [Online] Disponível em <http://www.unesco.org/new/pt/brasil/pt/about-this-office/single-view/news/urgent_need_to_manage_water_more_sustainably_says_un_report/#.VWURaM9Viko> Acesso em 24 de julho de 2016.
41. URANO, K.; TACHIKAWA, H. Process development for removal and recovery of phosphorus from wastewater by a new adsorbent. 2. Adsorption rates and break

- through curves. *Industrial Engineering Chemistry Research*, v. 30, p. 1897 – 1899, 1991.
42. ZIPF, M. S., **Caracterização e estudo de reúso da água de lavagem dos filtros de uma estação de tratamento de água (ETA) de uma indústria têxtil de Blumenau-SC**. 2010. 108 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
43. WIECHETECK, G. K. ; BENINI, B. D. S.; DI BERNARDO, L. D. Utilização da Dupla Filtração com Filtro Ascendente de Areia Grossa para a Remoção de Substâncias Húmicas. In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Rio de Janeiro: ABES, 2003.