

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ GUSTAVO VENÂNCIO DA SILVA RAMOS

**ANÁLISE DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA
QUANTO À GERAÇÃO E DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO
2018

JOSÉ GUSTAVO VENÂNCIO DA SILVA RAMOS

**ANÁLISE DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA
QUANTO À GERAÇÃO E DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.^a MSc. Patrícia Cristina Steffen

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Schneider

TOLEDO

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 161

Análise de uma Estação e Tratamento de Água quanto à geração e destinação de resíduos

por

José Gustavo Venâncio da Silva Ramos

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 13:00 h do dia **08 de Novembro de 2018** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof^a Msc. Gladis Cristina Furlan
(UTFPR – TD)

Prof^a Dr. Wagner Alessandro Pansera
(UTFPR – TD)

Prof Msc. Patrícia Cristina Steffen
(UTFPR – TD)
Orientador

Visto da Coordenação
Prof. Dr Fúlvio Natercio Feiber
Coordenador da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Meu agradecimento principal aos meus pais, Jarmes e Janete que sempre fizeram de tudo para contribuir a todos os aspectos de minha formação pessoal e educacional, ensinando valores, como perseverança, respeito, amizade, e sempre deixando claro que com trabalho duro e dedicação poderia realizar todos os meus objetivos.

Agradeço ao meu irmão Júlio César, por sempre ter acreditado em mim, e estado presente, mesmo à distância todos estes anos.

Agradeço em especial ao meu irmão José Augusto por termos dividido toda esta experiência acadêmica desde o início.

Agradeço a minha orientadora professora MSc. Patrícia Cristina Steffen e meu coorientador professor Dr. Ricardo Schneider, que não mediram esforços para a realização de um trabalho de qualidade, através de sugestões, correções e comentários muito valorosos, além da disposição e atenção que sempre me atenderam.

Agradeço a professora MSc. Galdis Furlan e ao professor Dr. Wagner Alessandro Pansera pelas contribuições ao trabalho.

Agradeço especialmente a SANEPAR, que através de suas colaboradoras Dr. Maura Stenzel e Maria das Graças Alves Troller proporcionaram total abertura para a realização da pesquisa e prontamente esclareceram todas as dúvidas que surgiam no decorrer deste trabalho, sem o apoio da SANEPAR esta pesquisa não seria possível.

Agradeço a todos meus professores, colegas de turma e aos grandes amigos que fiz durante a estadia em Toledo – PR, pelo companheirismo e amizade, que com certeza contribuíram para a amenização de preocupações e pressões naturais de um curso superior.

RESUMO

RAMOS, José Gustavo Venâncio da Silva. **Análise de uma Estação de Tratamento de Água quanto à geração e destinação de resíduos**. 2018. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2018.

Uma estação de tratamento de água gera resíduos para produzir água potável, os principais são o lodo gerado em decantador e a água utilizada para lavagem dos filtros. Atualmente, existem legislações que preconizam que o gerenciamento dos resíduos de estações de tratamento de água deve ser realizado de maneira ambientalmente adequada, entretanto, observa-se que não é o que ocorre no Brasil, onde grande parte destes resíduos é lançada diretamente em corpos hídricos sem tratamento algum. Neste trabalho uma estação de tratamento de água do oeste do Paraná, que utiliza Policloreto de Alumínio como coagulante é analisada quanto à quantificação - utilizando fórmulas empíricas e medições *in loco* -, caracterização – através de análises laboratoriais -, e gerenciamento – utilizando indicadores sugeridos na bibliografia - dos resíduos gerados em seus processos produtivos. Os resultados indicaram que a ETA em questão não apresenta tratamento nem disposição final adequados para tais resíduos, os indicadores de geração de lodo nos decantadores apresentaram valores menores do que os encontrados na bibliografia, porém os indicadores para a água de lavagem de filtros apresentaram valores elevados. Verificou-se também que as estimativas de lodo geradas pela maioria das fórmulas empíricas aplicadas se aproximam do valor medido *in loco*, indicando a aplicabilidade destas nesta ETA especificamente.

Palavras-chave: Lodo, produção, indicadores, Policloreto de Alumínio, resíduos de Estação de Tratamento de Água.

ABSTRACT

RAMOS, José Gustavo Venâncio da Silva Ramos. **Analysis of a Water Treatment Plant's generation and disposal of waste.** 2018. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2018.

A water treatment plant generates waste to produce drinking water, the main ones are the sludge generated in decanter and the water used to wash the filters. Currently, there are laws that prescribe that the management of waste from water treatment plants must be carried out in an environmentally adequate manner, however, it is observed that this is not the case in Brazil, where much of this waste is directly disposed of in water bodies without treatment. In this paper a water treatment plant placed in the west of Paraná, which uses aluminum polychloride as a coagulant is analyzed for quantification - using empirical formulas and on-site measurements -, characterization - through laboratory analysis - and management - using indicators suggested in bibliography - of the waste generated in its productive processes. The results indicated that the WTP in question does not present adequate treatment or final disposal for such waste, the indicators of sludge generation in decanters presented lower values than the ones found in bibliography, however the indicators for filter backwash water presented high values. It was also verified that the sludge estimates generated by most empirical formulas applied approximate to the measured value on-site, indicating the applicability of these in this WTP specifically.

Keywords: Sludge, production, indicators, aluminum polychloride, waste from water treatment plant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Etapas de tratamento em uma ETA convencional	16
Figura 2	- Decantadores da ETA Água de Laranjal – São Gonçalo (RJ).....	17
Figura 3	- Lodo retirado do decantador de uma ETA..	18
Figura 4	- Localização dos pontos de coleta	24
Figura 5	- Corte em perspectiva mostrando o interior de uma centrífuga decantadora com eixo horizontal e com alimentação do lado oposto da saída dos sólidos.....	29
Figura 6	- Esquema de sistema de filtro a vácuo.....	30
Figura 7	- Disposição final de resíduos provenientes de ETAs estadunidenses. ...	40
Figura 8	- Disposição final de resíduos provenientes de ETAs do Reino Unido....	41
Figura 9	- Disposição final de resíduos provenientes de ETAs da França..	41
Figura 10a	-Calha Parshall existente na ETA.....	43
Figura 10b	-Agitação rápida promovida no sistema	43
Figura 11	-Chicanas, estruturas de concreto para diminuir a velocidade da água. .	44
Figura 12	- Decantador da Estação de Tratamento de Água analisada	44
Figura 13a	- Coleta de ALAF na ETA.....	48
Figura 13b	-Recipientes utilizados para a coleta de ALAF	48
Figura 14	-Funcionário adentrando as chicanas para acessar os decantadores ...	49
Figura 15a	-Filtro antes da lavagem	50
Figura 15b	-Filtro no início da lavagem	50
Figura 15c	-Filtro durante o meio da lavagem.....	50
Figura 16	-Produção de sólidos na ETA analisada	56
Figura 17	-Produção de sólidos no período analisado	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características típicas de lodos de sulfato de alumínio.....	19
Tabela 2 - Variáveis físico-químicas para o lodo das ETAs de São Carlos, Araraquara e Rio Claro	19
Tabela 3 - Características da ALAF de ETAs (Coagulante primário: ETAs 1 e 2 – cloreto férrico; ETAs 3 e 4 – sulfato de alumínio).....	20
Tabela 4 - Dados gerais das cinco estações de tratamento de águas (ETAs) analisadas	38
Tabela 5 - Indicadores relacionados ao tipo de água utilizada na lavagem de decantadores e filtros.	38
Tabela 6 - Indicadores de volume de lodo gerado nos decantadores e de ALAF ...	39
Tabela 7 - Indicadores de tratamento de lodo e água de lavagem de filtros (ALAF)... ..	39
Tabela 8 - Indicadores de perdas de água nas lavagens de decantadores e filtro e na estação de tratamento de água (ETA), em relação ao volume de água tratada e população abastecida	39
Tabela 9 - Variáveis físico-químicas a serem analisadas para o lodo.....	46
Tabela 10 - Variáveis físico-químicas a serem analisadas para a água de lavagem de filtro	48
Tabela 11 - Dados operacionais da ETA analisada	51
Tabela 12 - Indicativos de gerenciamento dos resíduos na ETA analisada	52
Tabela 13 - Características do lodo de decantador da ETA analisada.....	54
Tabela 14 - Variáveis físico-químicas da água de lavagem de filtro da ETA analisada	55
Tabela 15 - Produção de sólidos na ETA analisada	56

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALAF	Água de lavagem de filtro
APHA	American Public Health Association
AWWA	American Water Works Association
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPA	United States Environmental Protection Agency
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
ISO	International Organization for Standardization
LETA	Lodo gerado em estação de tratamento de água
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MPMG	Ministério Público do Estado de Minas Gerais
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
Sisnama	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
PAC	Policloreto de Alumínio

LISTA DE SÍMBOLOS

mg	Miligrama
kg	Quilograma
L	Litro
<i>P</i>	Produção de sólidos
<i>T</i>	Turbidez da água bruta
<i>D</i>	Dosagem de coagulante
<i>k</i>	Coefficiente de precipitação de acordo com o coagulante utilizado
<i>A</i>	Outros aditivos presentes na etapa de coagulação
<i>DSA</i>	Dosagem de sulfato de alumínio
<i>uT</i>	Unidade de Turbidez
<i>uH</i>	Unidade de Hazen
<i>uC</i>	Unidade de Cor
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
pH	Potencial Hidrogeniônico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA	13
1.2	OBJETIVOS	14
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos Específicos	14
1.3	LIMITAÇÃO DA PESQUISA	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA ETA	16
2.2	CARACTERÍSTICA DOS LODOS	18
2.3	CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE LAVAGEM DE FILTRO	20
2.4	CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS	21
2.5	IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS	23
2.6	GESTÃO DOS RESÍDUOS	24
2.6.1	Pré-tratamento	26
2.6.2	Desidratação não Mecânica	27
2.6.3	Desidratação Mecânica	28
2.6.4	Recirculação	31
2.7	DISPOSIÇÃO FINAL	31
2.7.1	Reuso	32
2.8	FÓRMULAS EMPÍRICAS PARA QUANTIFICAÇÃO DO LODO	34
2.9	PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO DE UMA ETA	37
2.10	PANORAMA MUNDIAL	40
3	METODOLOGIA	43
3.1	ÁREA DE ESTUDO	43
3.2	MÉTODOS	45
3.2.1	Dados Operacionais da ETA	45

3.2.2	Obtenção e Caracterização do Lodo do Decantador	46
3.2.3	Quantificação do Lodo Gerado nos Decantadores	47
3.2.4	Obtenção e Caracterização da Água de Lavagem de Filtro	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
4.1	METODOLOGIA DE LIMPEZA DE DECANTADORES E FILTROS	49
4.1.1	Limpeza de decantadores	49
4.1.2	Limpeza dos filtros	50
4.2	DADOS OPERACIONAIS DA ETA	51
4.3	PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO DA ETA QUANTO AO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS	52
4.4	CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE DECANTADOR	53
4.5	CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTRO	54
4.6	QUANTIFICAÇÃO DO LODO GERADO NOS DECANTADORES	55
5	CONCLUSÃO	58
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural imprescindível para a manutenção da vida humana e de todos os seres vivos no planeta. Este recurso, entretanto, é limitado na natureza, e, de toda a água existente, somente 0,7% é de água doce disponível em rios, lagos, lençóis subterrâneos, umidade do solo e da atmosfera. O gerenciamento não adequado destes recursos pelo homem tem gerado a deterioração da qualidade das águas naturais, o que pode ser revertido através da atuação harmoniosa entre homem e natureza, implantação de programas de planejamento e proteção mais severos dos recursos hídricos, entre outras medidas mitigadoras (OTTONI, 1999).

As estruturas criadas para transformar a água, tal como encontrada na natureza, em água própria para o consumo são denominadas Estações de Tratamento de Água (ETAs), estas, por sua vez, são naturalmente geradoras de resíduos, sendo o lodo o principal deles (BABATUNDE e ZHAO, 2007).

O gerenciamento destes resíduos deve buscar o mínimo impacto ambiental, porém, no Brasil não é isto o que se constata. Segundo Ribeiro (2003), no Brasil ainda a grande maioria das estações de tratamento de água lançam seus resíduos sem nenhum tratamento nos corpos hídricos mais próximos, como ocorre no estado de São Paulo, onde segundo Achon e Cordeiro (2015), em uma de suas sub-bacias hidrográficas, 86% das ETAs lançam o lodo sem tratamento em corpos de água, e isto reflete a situação do país como um todo.

Por outro lado, em países da Europa e nos Estados Unidos, por exemplo, os resíduos oriundos das ETAs têm destinos diferentes em comparação ao Brasil. Segundo Cornwell *et al.* (2000), cerca de 11% das estações de tratamento de água norte-americanas descarregavam seus resíduos diretamente nos corpos de água. Na Holanda, por sua vez, até o ano de 1989, segundo Pereira (2011) somente 2% do lodo era lançado em cursos d'água, o que demonstra uma preocupação já antiga nos países mais desenvolvidos com a importância de um gerenciamento de resíduos adequado. Além destes, existem outros estudos de caso relacionados ao percentual de lodo lançado diretamente aos rios.

Desta forma, considera-se que a quantidade excessiva de lodo depositada nos rios de forma inadequada (sem tratamento) possa colaborar com um quadro eventual de poluição das águas ou, pelo menos, com a diminuição da qualidade da água disponível.

Por isso, uma vez que no país existem legislações vigentes com o objetivo de garantir a qualidade dos recursos hídricos, bem como fazer o melhor uso destes bens naturais, entende-se que o trabalho proposto seja capaz de averiguar a necessidade, ou não, de se tomar medidas para melhorar estas condições em um município da região oeste do estado do Paraná.

Diante disso, o presente trabalho se propõe a analisar quantitativamente e qualitativamente os resíduos de uma ETA, a partir de coleta de amostras avaliadas segundo parâmetros pertinentes, que serão expostos no decorrer deste trabalho. Assim, acredita-se ser possível avaliar o quadro de geração do resíduo pelas ETAs da região de estudo, bem como propor medidas para a diminuição do impacto ambiental gerado.

1.1 JUSTIFICATIVA

O tratamento inadequado, bem como a incorreta disposição dos resíduos provenientes de Estações de Tratamento de Água, podem ocasionar danos à saúde do ser humano, desequilíbrio em ecossistemas, escassez de recursos, poluição visual, entre outras consequências indesejadas. Por isso, os recursos hídricos merecem grande atenção, evitando alterações na qualidade das águas e a escassez de mananciais compatíveis ao abastecimento público de água.

Em busca de uma melhor relação entre a sociedade e os recursos hídricos, surgiu em 1997 o Plano Nacional de Recursos Hídricos, instituído pela Lei Nº 9.433. O objetivo da legislação em vigor é assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. Entre as suas diretrizes de ação está a integração da gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental, ou seja, ambas devem seguir alinhadas uma à outra (BRASIL, 1997).

Ainda, após a criação do Plano Nacional de Recursos Hídricos, outras políticas surgiram desde 1997. Entre elas, pode-se destacar a Lei Nº 11.445 de 2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. A referida legislação afirma que se deve buscar a minimização dos impactos ambientais relacionados às ações de implantação e desenvolvimento das ações, obras e

serviços de saneamento básico, as quais devem ser executadas conforme as normas relativas à proteção do meio ambiente e à saúde (BRASIL, 2007).

O tratamento de água para abastecimento público, como uma das vertentes do saneamento básico previstas pela Lei Nº 11.445 de 2007, é capaz de gerar grandes quantidades de lodo em seu processo de produção de água potável. Em sua maioria, os resíduos, posteriormente, são conduzidos a corpos hídricos sem qualquer tipo de tratamento, podendo ocasionar um quadro de poluição ou desclassificação do corpo hídrico receptor, devido às suas características físicas e/ou químicas, gerando um confronto com as preconizações das políticas nacionais do país.

Diante das legislações vigentes, as quais visam manter a qualidade de rios receptores de resíduos, acredita-se que a disposição inadequada do lodo gerado em estações de tratamento pode interferir negativamente na qualidade da água dos mesmos. Desta maneira, propõe-se, portanto, analisar a forma de gerenciamento de resíduos adotada em uma ETA, quanto à quantidade, qualidade e disposição destes.

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos geral e específicos do presente trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar, quantitativa e qualitativamente, a produção e destinação dos resíduos em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) do oeste do estado do Paraná.

1.2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, tem-se:

- a) Analisar o método de gerenciamento de resíduos provenientes de uma ETA.

- b) Quantificar a água utilizada na lavagem de filtros da Estação de Tratamento de Água, através de medições in loco.
- c) Quantificar a geração de lodo dos decantadores da ETA, por métodos empíricos e in loco.
- d) Relacionar as quantidades de água despendida na lavagem dos filtros e o lodo decantado às características da ETA.
- e) Analisar parâmetros físico-químicos da água de lavagem de filtro e do lodo gerado na ETA estudada.

1.3 LIMITAÇÃO DA PESQUISA

Devido ao prazo de entrega do Trabalho de Conclusão de Curso, tem-se um período reduzido de tempo para realização das coletas e análises de resultados. Seria pertinente dar seguimento ao trabalho e analisar a geração de resíduos no período de, pelo menos um ano, devido às oscilações na produção de água em uma escala de tempo anual.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

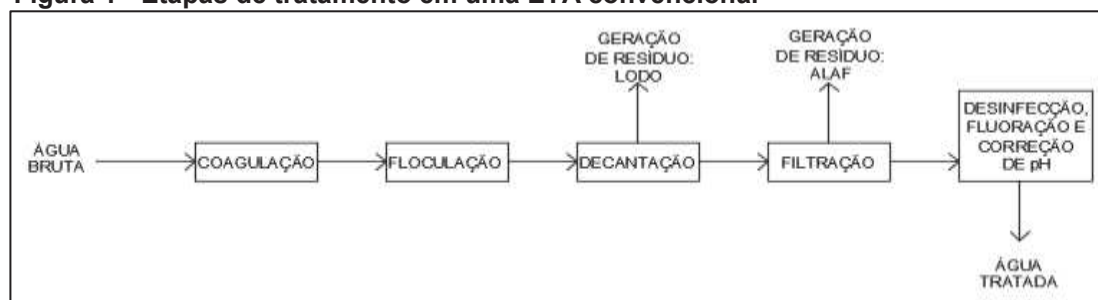
Este capítulo consiste em uma revisão bibliográfica, em que serão explicadas a teoria e conceitos base da geração de resíduos e seu gerenciamento em uma estação de tratamento de água, a classificação normativa de tais resíduos, bem como seus parâmetros de quantificação e qualificação propostos por outros pesquisadores.

2.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA ETA

Uma estação de tratamento de água pode ser vista analogamente a uma indústria, onde a matéria-prima é a água bruta proveniente do manancial explorado e o produto final é a água tratada. Existem ETAs com diferentes tecnologias de tratamento de água, apresentando etapas específicas em cada uma delas. As ETAs convencionais são amplamente utilizadas no Brasil, estas também podem ser denominadas como de estações de ciclo completo. O processo nestas estações segue a seguinte ordem: coagulação, floculação, decantação ou flotação, filtração descendente, desinfecção além de processos químicos para ajuste dos parâmetros de potabilidade (URBAN, 2016).

Assim como em qualquer indústria, neste processo de transformação são gerados resíduos, sendo os principais deles o lodo gerado nos decantadores (LETA) e a água de lavagem de filtro (ALAF). As etapas, presentes em uma ETA convencional são descritas a seguir, segundo Reali (1999), e, para melhor entendimento, o esquema das etapas de produção de uma ETA convencional é representado na Figura 1:

Figura 1 - Etapas de tratamento em uma ETA convencional



Fonte: Adaptado de Di Bernardo e Sabogal-Paz (2008 apud URBAN 2016).

- a) **Coagulação:** o processo de coagulação se inicia com a chegada de água bruta à estação de tratamento, contendo partículas muito pequenas em suspensão; neste momento, são adicionados à água os coagulantes, geralmente sulfato de alumínio ou cloreto férrico, que se ligam ionicamete às partículas coloidais, aglutinando-se devido às cargas opostas;
- b) **Floculação:** na floculação é, primeiramente, promovida a agitação rápida da água para uma maior dispersão do coagulante e, depois, uma agitação lenta, com o objetivo de ocasionar maior contato entre partículas, para a formação dos flocos finais.
- c) **Decantação:** nesta etapa, os flocos gerados na floculação se depositam no fundo de grandes tanques, pela ação da gravidade, onde permanecem por determinado período de tempo, mantendo a água clarificada no topo do sistema. A quantidade de lodo gerada depende do tipo de coagulante utilizado e da frequência com que o resíduo é retirado dos decantadores, situando-se geralmente entre 0,1 a 1,5% do volume de água bruta inicial; a quantidade de sólidos gerada num mesmo período é praticamente a mesma, mas se retirado com frequência elevada o volume de água associada é maior, aumentando o volume total de lodo, também se deve evitar frequência muito baixa, devido a possíveis alterações das características do lodo e interferência deste na qualidade da água. Ainda, deve-se levar em conta a sazonalidade da qualidade da água bruta pra definir tal frequência. Na Figura 2 estão representados alguns decantadores de uma ETA do estado do Rio de Janeiro.

**Figura 2 – Decantadores da ETA Água de Laranjal
- São Gonçalo (RJ)**



Fonte: Ministério do Planejamento (2012).

d) Filtração: a água clarificada ainda apresenta algumas impurezas e partículas que não decantaram, sendo necessária a etapa de filtração. Nesta etapa, o líquido passa por grandes filtros de camadas compostas, geralmente, de antracito e areia, onde fica retido certo volume dos sólidos. Dependendo do volume filtrado diariamente, tais impurezas devem ser retiradas, e o processo se dá pela lavagem com introdução, geralmente, ascendente de água. Segundo Green e Lin (1987), para ETAs que utilizam o sulfato de alumínio como coagulante, o volume de ALAF gerado fica entre 2 a 5% do volume de água filtrada, o que é reafirmado por Reali (1999), que encontrou volume de ALAF no mesmo intervalo de porcentagem.

2.2 CARACTERÍSTICA DOS LODOS

O lodo de ETA, como representado na Figura 3, apresenta características mais similares às dos solos do que às do lodo de esgoto. No lodo de ETA, em geral, as concentrações de nitrogênio e carbono orgânico são menores, e estes elementos, mais estáveis e menos reativos (AWWA, 1995).

Figura 3 – Lodo retirado do decantador de uma ETA



Fonte: Autor (2018).

De acordo com Richter (2001), nas ETAS em que é utilizado o sulfato de alumínio como coagulante, o lodo apresenta as características apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características típicas de lodos de sulfato de alumínio

Sólidos Totais (%)	Al ₂ O ₃ 5H ₂ O (%)	Inorgânicos (%)	Matéria Orgânica (%)	pH	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	Demanda Química de Oxigênio (mg/L)
0,1- 4	15 - 40	35 - 70	15 - 25	6 - 8	30 - 300	30 – 5.000

Fonte: Richter (2001).

Pode-se observar que a maior parte de sua composição é de matéria inorgânica, seguida por compostos provenientes dos coagulantes (Al₂O₃5H₂O) e matéria orgânica, também pode-se observar baixa porcentagem de sólidos.

Cordeiro (2001) analisou características físico-químicas do lodo proveniente das ETAs de São Carlos, Araraquara e Rio Claro, localizadas no Estado de São Paulo. As estações têm diferentes métodos operacionais. Em Araraquara, o lodo é removido três vezes ao dia, não se acumulando em tanques. Nas outras duas, ocorre o acúmulo nos tanques, aumentando a concentração de sólidos. Os valores encontrados podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 – Variáveis físico-químicas para o lodo das ETAs de São Carlos, Araraquara e Rio Claro

Parâmetros	ETA – Araraquara	ETA – Rio Claro	ETA – São Carlos
Concentração de sólido em %	0,14	5,49	4,68
pH	8,93	7,35	7,2
Cor (<i>uC</i>)	10.650	*	*
Turbidez (<i>uT</i>)	924	*	*
DQO (mg/L)	140	5.450	4.800
Sól. totais (mg/L)	1.620	57.400	58.630
Sól. suspensos (mg/L)	775	15.330	26.520
Sól. dissolvidos (mg/L)	845	42.070	32.110
Alumínio (mg/L)	2,16	30	11.100
Zinco (mg/L)	0,10	48,53	4,25
Chumbo (mg/L)	0,00	1,06	1,60
Cádmio (mg/L)	0,00	0,27	0,02
Níquel (mg/L)	0,00	1,16	1,80
Ferro (mg/L)	214	4.200	5.000
Manganês (mg/L)	3,33	30	60,00
Cobre (mg/L)	1,70	0,91	2,06
Cromo (mg/L)	0,19	0,86	1,58

* Os valores de turbidez e de cor para lodos mais concentrados não têm sentido.

Fonte: Cordeiro (2001).

Pode-se observar que a concentração de sólidos e a quantidade de metais são mais elevadas quanto menor a frequência de remoção do lodo, o que segundo Villela (2011) evidencia o prejuízo do descarte de lodos que são acumulados nos decantadores durante muito tempo.

2.3 CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE LAVAGEM DE FILTRO

De acordo com Reali (1999), o volume de ALAF produzido depende da maneira com que a lavagem dos filtros ocorre, esta pode ser realizada de diversas maneiras, o método no qual a água passa pelos filtros em sentido ascensional, ou seja, no sentido de fluxo inverso ao da filtração tende a gerar maior volume de resíduo se comparada com sistema que possua lavagem auxiliar com ar anteriormente à retrolavagem. A Tabela 3 mostra características encontradas neste resíduo em 4 ETAs diferentes.

Tabela 3 – Características da ALAF de ETAs (Coagulante primário: ETAs 1 e 2 – cloreto férrico; ETAs 3 e 4 – sulfato de alumínio)

Parâmetros	(continua)			
	ETA 1	ETA 2	ETA 3	ETA 4
pH	7,1	8	6,9	7,3
Cor aparente (uC)	200	2.690	310	400
Turbidez (uT)	130	171	58	76
DQO	40,8	52	35	48
Sól. totais (mg/L)	367	*	88	130
Sól. totais fixos (mg/L)	157	*	65	*
Sól. totais voláteis (mg/L)	210	*	23	*
Sól. suspensos totais (mg/L)	250	313	59	95
Sól. suspensos fixos (mg/L)	210	230	48	*
Sól. suspensos voláteis (mg/L)	40	83	17	*
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	37	*	17	12,6
Dureza (mg/L CaCO ₃)	40,8	*	12	*
Ferro	700	170	6,9	6,5
Alumínio	*	*	0,3	0,8
Metais (mg/L)				
Manganês	2,19	1,17	0,1	0,1
Zinco	2	0,1	0,64	*
Cobre	0,35	0,84	0,06	*
Chumbo	0,58	ND	N	*

Tabela 3 – Características da ALAF de ETAs (Coagulante primário: ETAs 1 e 2 – cloreto férrico; ETAs 3 e 4 – sulfato de alumínio)

		(conclusão)			
Parâmetros		ETA 1	ETA 2	ETA 3	ETA 4
Metais (mg/L)	Níquel	0,35	ND	N	*
	Cromo	0,09	ND	N	*
	Cádmio	0,01	ND	N	*
	Cálcio	95,6	*	*	*
	Magnésio	22,8	*	*	*

ND = não detectado; (*) = não pesquisado.

Fonte: Reali (1999).

Pode-se verificar que o resíduo apresenta pH entre 6,9 e 8, também é interessante apontar que a turbidez, quantidade de sólidos totais e totais voláteis das ETAs que utilizam cloreto férrico como coagulante principal apresentam valores superiores se comparados às que utilizam sulfato de alumínio.

Ribeiro (2007) encontrou o valor médio anual de 442 mg/L para sólidos totais da ETA de Itabirito – MG, nesta ETA são gastos em média 80 m³ de água em cada lavagem e o coagulante utilizado é o sulfato de alumínio.

2.4 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

A Lei Nº 12.305 (BRASIL, 2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, apresenta um sistema de classificação destes resíduos, de acordo com sua origem e sua periculosidade, como mostrado abaixo, porém, não são apresentadas metodologias para se definir este segundo viés de classificação:

I - quanto à origem:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;

- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

II - quanto à periculosidade:

- a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
- b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea "a".(BRASIL, 2010).

Os lodos provenientes da geração de resíduos em estações de tratamento de água são considerados resíduos sólidos, de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004):

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004).

A norma "NBR 10004:2004 – Resíduos Sólidos – Classificação" da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas também afirma que a classificação dos resíduos sólidos se dá mediante a identificação do processo pelo qual este teve origem, seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias as quais são conhecidos os impactos à saúde e ao meio ambiente.

Segundo a norma citada os resíduos sólidos podem ser classificados em:

- a) resíduos classe I – Perigosos.
- b) resíduos classe II – Não perigosos.
 - i) resíduos classe II A – Não inertes.
 - ii) resíduos classe II B – Inertes.

Os resíduos enquadrados na classe I apresentam periculosidade, ou ainda alguma destas características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Os resíduos enquadrados na classe II são resíduos que não apresentam as características descritas no parágrafo anterior, como por exemplo resíduos de restaurantes, de papel e papelão, de madeira, entre outros resíduos não perigosos.

Os resíduos classe II B são resíduos que, quando amostrados segundo a ABNT NBR 10007 e submetidos a contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, segundo os preceitos da ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água.

Os resíduos classe II A são os resíduos que não se enquadram nas classes I nem na II B.

Ribeiro (2007) realizou ensaios pertinentes e classificou o lodo da estação de tratamento de Itabirito-MG como resíduo sólido classe II A – Não inerte. Aboy (1999) também realizou tais ensaios encontrando a mesma classificação.

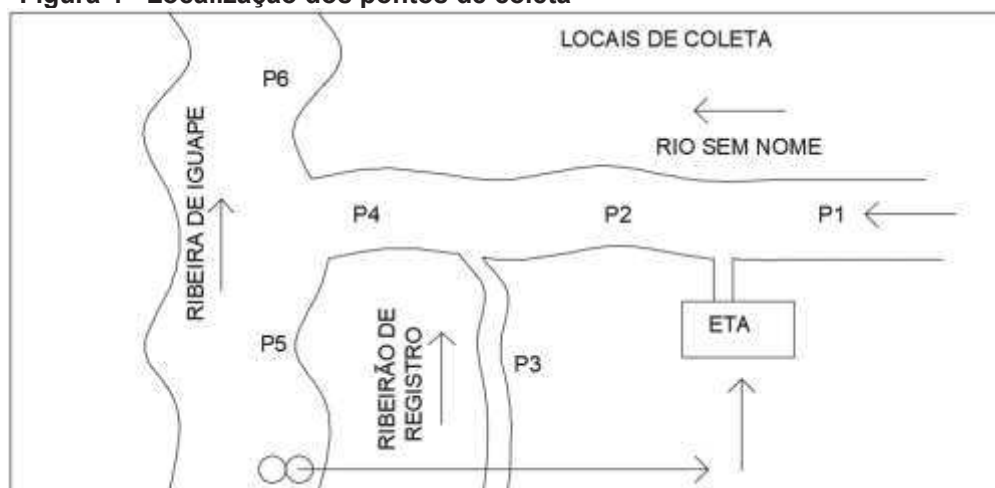
2.5 IMPACTOS AMBIENTAIS GERADOS

Os resíduos gerados em uma ETA, quando não tratados ou caso apresentem destinação inadequada, podem gerar uma série de impactos ambientais. Reis *et al.* (2006) analisaram amostras de água do Rio Sem Nome e Ribeira de Iguape, na cidade de Registro, São Paulo. O Rio Sem Nome, por sua vez, deságua no Ribeirão de Iguape, conforme representado na Figura 4. Uma ETA descarrega o lodo proveniente de seus decantadores no primeiro corpo hídrico citado. Além disso, há um ribeirão afluente deste córrego (Ribeirão de Registro), o qual deságua no Rio Sem Nome a montante do despejo de lodo. Foram coletadas amostras nos pontos indicados na Figura 4, e medidas concentrações de metais e outros parâmetros físico-químicos para comparação com limites impostos pela CONAMA 357/2005.

Os resultados mostraram que os parâmetros considerados à montante e à jusante após 24 h do lançamento do lodo apresentaram concentrações semelhantes, indicando que há uma rápida dispersão dos resíduos, não ocasionando riscos neste

caso. Também foram analisadas amostras dos sedimentos lixiviados nos mesmos pontos. Para tais amostras mostrou-se que a concentração de alumínio imediatamente à jusante do despejo de lodo era consideravelmente maior do que à montante, verificando assim que tal diferença tem origem antrópica.

Figura 4 - Localização dos pontos de coleta



Fonte: Adaptado de Reis *et al.* (2006)

Achon *et al.* (2004), por outro lado, apontam problemas causados pelo lançamento *in natura* dos resíduos da ETA em um corpo hídrico, entre estes problemas podemos citar o aumento da turbidez das águas, que pode gerar redução da camada eutrófica e soterramento dos bentos, aumento na concentração de matéria orgânica, que pode gerar diminuição na quantidade de oxigênio dissolvido na água devido a utilização destes pelos agentes decompositores, aumento na concentração de metais pesados (alumínio e ferro), que pode gerar problemas renais e cardiovasculares no ser humano, entre outros impactos.

2.6 GESTÃO DOS RESÍDUOS

Segundo Green e Lin (1987), entre os principais métodos de gestão dos resíduos gerados em ETAs, estão a minimização da produção de lodo, o tratamento destes e a aplicação final. Também há a possibilidade de reutilização destes:

- a) Minimizar a geração: assim como qualquer resíduo, deve-se primeiramente tentar introduzir maneiras de reduzir sua produção; o

volume de lodo é diretamente ligado à quantidade de coagulante dispersa na etapa de coagulação; a redução de 1 mg/L de sulfato de alumínio de acordo com Green e Lin (1987) resulta na diminuição de aproximadamente 360 kg de lodo por ano em uma ETA com produção de 1 milhão de galões de água por dia, os operadores da estação devem portanto otimizar tal dosagem.

- b) Filtração direta: na filtração direta, ao contrário do funcionamento das ETAs convencionais, não há a decantação de sólidos, os flocos formados na etapa de floculação são retidos nos filtros. A eficácia deste tipo de tratamento de água depende das características da água bruta, preferencialmente com baixa concentração de sólidos em suspensão e consequentemente baixa turbidez; a quantidade de lodo gerada nestas ETAs é menor se comparada com as de funcionamento convencional (EPA, 2011).
- c) Recuperação de coagulantes: cerca de 35% a 50% da composição dos sólidos no LETA são coagulantes lançados durante o tratamento da água bruta. Sua recuperação para reutilização na própria estação de tratamento gera redução significativa nos custos de disposição do lodo gerado, segundo Reali (1999) tal redução chegou a 40% em estudos realizados na Finlândia. O processo se dá inicialmente pela solubilização dos hidróxidos precipitados, e a separação destes pode se dar pela filtração em membranas onde só passam água e espécies inorgânicas solúveis.

No Brasil, a maioria das ETAs foi implantada antes de existirem leis que exigem o licenciamento ambiental das atividades geradoras de poluentes. No entanto, com a atual crise hídrica, as empresas responsáveis pelos sistemas de tratamento de água devem agir em função de melhorar a qualidade do saneamento e do meio ambiente. No que diz respeito à gestão do LETA, sua destinação e disposição final devem ser considerados prioridade na manutenção da qualidade dos recursos hídricos (ACHON; CORDEIRO, 2015).

2.6.1 Pré-tratamento

Antes que ocorra o tratamento, propriamente dito, é necessário que os resíduos gerados em uma ETA passem por uma etapa de pré-tratamento. Segundo Fulton (1978 *apud* GREEN e LIN, 1987) esta etapa inicial se dá pela equalização de fluxo, separação de sólidos e espessamento do lodo:

- a) Equalização de fluxo: é importante para a obtenção de um resíduo homogêneo; segundo Scalize (2003), a equalização de fluxo é a obtenção de uma vazão controlada dos resíduos gerados na ETA, antes de seu tratamento ou disposição final, que pode ser a rede de esgoto. De acordo com Green e Lin (1987), a equalização deve levar em consideração os requisitos de armazenagem da estação e o cronograma de descarga de resíduos projetado.
- b) Separação de sólidos: o lodo gerado em uma ETA apresenta valores de umidade próximos de 95%, sendo assim, os processos de tratamento deste resíduo se resumem na aplicação de técnicas para aumentar sua concentração de sólidos, ou seja, a redução de volume do mesmo por meio da expulsão da água livre associada a esta substância (REALI, 1999).

O volume e características dos resíduos gerados nas ETAs dependem da fonte de água, taxa de produção, eficiência e tipo de tratamento utilizado. Os resíduos gerados apresentam naturalmente sólidos resultantes das várias etapas pelas quais a água bruta passa. A diminuição do volume através de técnicas de remoção de água possibilita facilidades em sua disposição final, como por exemplo a disposição destes resíduos em aterros, e ainda reduz custos em transporte (EPA, 2011).

- c) Espessamento: o tipo de espessamento mais utilizado é o por gravidade, geralmente de formato circular em planta. Pode ser alimentados de forma contínua ou por bateladas, tais espessadores geralmente apresentam raspadores de fundo para empurrar o lodo sedimentado para o centro do tanque, de onde é retirado. Também podem possuir uma espécie de canaleta telescópica para descarte da água que se concentra na

superfície destes dispositivos (REALI, 1999). O uso deste tipo de mecanismo é barato e também eficaz, pode ser utilizado no sistema uma cerca de piquetes que rotaciona lentamente, aumentando a separação de sólidos. Desta maneira o espessamento se dá inicialmente por gravidade e é auxiliado pela compressão do agitador atuante sobre o lodo (GREEN; LIN, 1987).

Ainda segundo Fulton (1978 *apud* GREEN e LIN, 1987) as técnicas acima citadas podem ser implantadas separadamente ou conjuntamente em uma ETA.

2.6.2 Desidratação não Mecânica

De acordo com Green e Lin (1987), após o pré-tratamento, os resíduos gerados nas ETAs ainda podem passar por processos de diminuição de volume e expulsão de água mais eficazes, tais métodos podem ser mecânicos (quando se utilizam processos mecânicos para acelerar o processo) ou não mecânicos. Como membros deste segundo grupo podem ser citados:

- a) Lagoas de lodo e leitos de secagem: uma das alternativas é a utilização de lagoas ou leitos de secagem de lodo, ambos os sistemas precisam de grandes áreas para sua instalação, o que implica em grandes custos também. As lagoas geralmente consistem em duas ou mais unidades funcionando em paralelo, sendo o lodo é conduzido a uma destas unidades até que esta se encha, sendo então interrompido o fluxo de lodo para o local, possibilitando a desidratação do lodo que nela está contido através da evaporação. Em países de clima temperado é mais interessante que se implantem drenos de areia, geralmente ao fundo destas lagoas, para que além da evaporação ocorra a passagem da água contida no lodo para os drenos, auxiliando na secagem. Neste caso o sistema é denominado leito de secagem de lodo (REALI, 1999).
- b) Congelamento e descongelamento: tal processo é capaz de reduzir o volume de lodo para 1/6 do volume original. Foi inicialmente idealizado para o tratamento de efluentes de esgotamento sanitário, e é composto

por duas fases de congelamento de 45 minutos, onde a água de hidratação é removida do hidróxido de alumínio gelatinoso, e uma fase de descongelamento de mesma duração. Os custos associados são relativamente altos, sendo um método mais aplicável em regiões de clima frio, inclusive sendo possível a implantação de grandes áreas de congelamento natural (GREEN; LIN, 1987).

- c) Condicionamento químico: o condicionamento químico depende das características químicas do lodo ou água de lavagem de filtro. Consiste na adição de polímeros catiônicos – quando os resíduos apresentam pH abaixo de 7,0 –, não iônicos – para pH entre 6,5 e 8,5 – ou aniônicos – pH acima de 8,5. A adição de tais polímeros fortalece a ligação entre os flocos formados na etapa de coagulação e floculação, e desta maneira tais ligações não serão rompidas nas futuras etapas mecânicas de desidratação, onde existem forças de cisalhamento (MURRAY *et al.*, 1994).

De acordo com Ribeiro (2007) os processos não-mecânicos também podem ser chamados de processos naturais e são utilizados em ETAs de pequeno e médio porte, e que também apresentem áreas disponíveis e condições climáticas favoráveis.

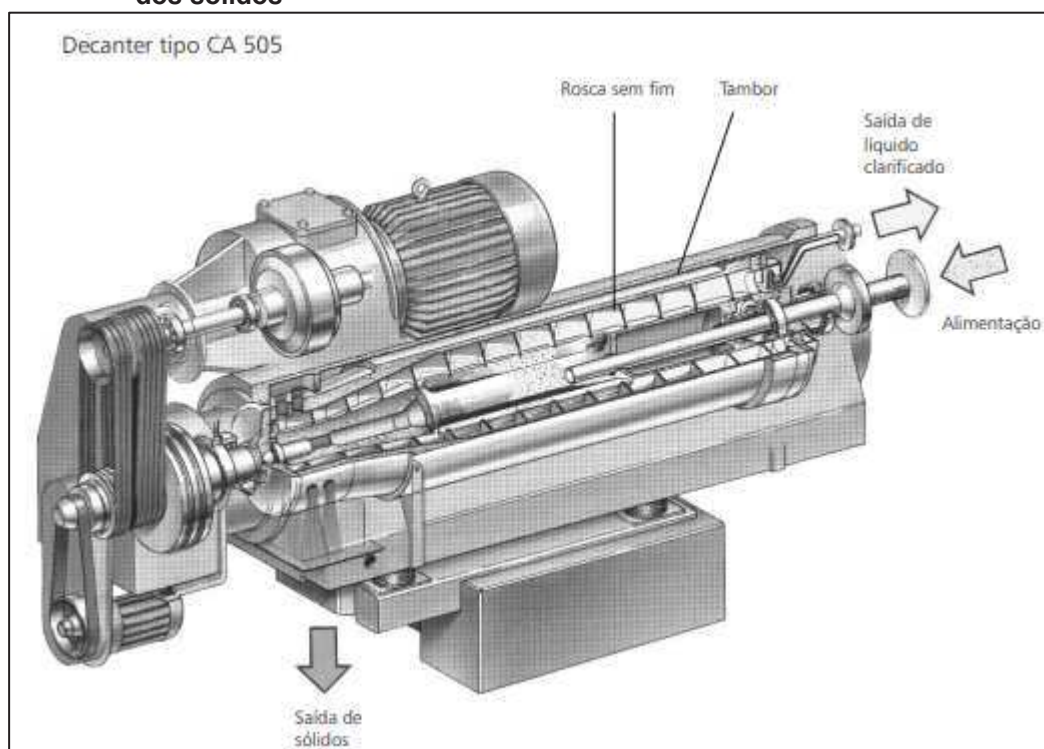
2.6.3 Desidratação Mecânica

Os sistemas mecânicos mais utilizados para a desidratação do LETA são os de centrifugação, filtro à vácuo e prensa. O método de filtro-prensa de correia é implantado em menor grau. Pode-se observar nos itens abaixo as características dos mesmos. Ressalta-se que existem, além destas, outras alternativas mecânicas para desidratação do LETA (GREEN; LIN, 1987):

- a) Centrifugação: segundo Green e Lin (1987), a centrifugação proporciona a separação de sólidos dos lodos e água de lavagem de filtro através da força gravitacional criada pela rotação de alta velocidade. A eficiência deste método depende de fatores como a força

centrífuga, taxa de alimentação, dosagem do polímero no condicionamento químico, qualidade da água bruta e tamanho e densidade dos flocos. Entre as vantagens da utilização das centrífugas em relação às prensas para desidratação do lodo, estão segundo Lersch *et al.* (1992) o custo inicial de aquisição, a simplicidade de instalação, menor manutenção e mão-de-obra para operação do sistema. Barbosa (1997) com a utilização de centrífugas na ETA de Rio Descoberto, Brasília – DF, obteve uma concentração de sólidos de 35% para o lodo de água de lavagem de filtro. Pode-se observar na Figura 5, uma centrífuga utilizada para tratamento de lodos, é possível observar o local de entrada do lodo (alimentação) e por onde saem os sólidos e a água clarificada.

Figura 5 - Corte em perspectiva mostrando o interior de uma centrífuga decantadora com eixo horizontal e com alimentação do lado oposto da saída dos sólidos

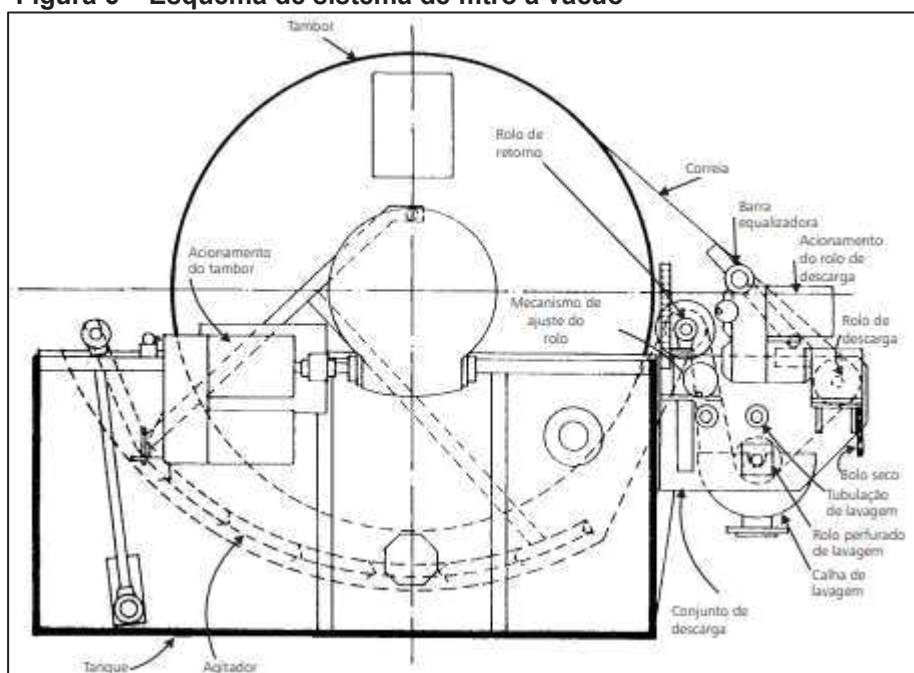


Fonte: Reali (1999)

- b) Filtro a vácuo: a filtração a vácuo normalmente utiliza um tambor rotativo – variando de 1/8 a 1 rpm, geralmente –, recoberto de material filtrante em sua superfície e a eficácia do sistema depende do uso de

um bom meio filtrante. O tambor é colocado horizontalmente sob vácuo através de tubos internos e cerca de 1/4 de sua superfície externa é submergida no reservatório que contém lodo. Segundo Reali (1999), seções do tambor são submetidas a pressões negativas e positivas alternadamente, desta maneira os sólidos depositam-se em sua superfície e a água drenada através do lodo e da superfície filtrante é recolhida, a Figura 6 representa o esquema de um filtro a vácuo.

Figura 6 – Esquema de sistema de filtro a vácuo



Fonte: Reali (1999).

- c) Filtro-prensa: o filtro-prensa consiste de um determinado número de placas filtrantes contendo depressões, dispostas verticalmente em suportes, o material filtrante depende das características do lodo. Existem um ou mais orifícios de alimentação que lançam lodo sobre pressão dentro das câmaras que se formam pelas depressões entre as placas. A água presente no LETA passa através dos filtros, deixando os sólidos para trás, quando tais câmaras se enchem o material é retirado para sua destinação final (GREEN; LIN, 1987).
- d) Filtro-prensa de correia (Belt Filter): neste tipo de filtração os resíduos são colocados entre duas correias porosas e passados sobre/ sob uma

série de rolos de diferentes diâmetros. Os diferentes rolos exercem pressão nas correias, espremendo a água dos sólidos e fazendo com que esta atravesse a correia porosa. Quanto mais extenso o curso da correia, mais seco se torna a “torta” de sólidos (EPA, 2011).

Em geral, os sistemas mecânicos, apesar da possibilidade de implantação em áreas menores do que os sistemas naturais, exigem custos adicionais de implantação, operação e manutenção (REALI, 1999).

2.6.4 Recirculação

A técnica de recirculação consiste na recuperação da água de lavagem de filtro, lançando-a para o início do processo de tratamento juntamente com a água bruta. Tal processo pode consistir na recuperação total da ALAF, ou apenas a parte líquida, ou sobrenadante. Antes de realizar tal recirculação é necessário analisar as características do resíduo. Entre as vantagens deste método está a diminuição da quantidade de coagulantes necessária na etapa de coagulação, devido à quantidade já inerente à ALAF (SCALIZE, 2003).

2.7 DISPOSIÇÃO FINAL

Segundo a Lei 12.305, Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), são proibidas a destinação ou disposição final de resíduos sólidos através do lançamento destes em praias, mar ou em quaisquer corpos hídricos, *in natura* a céu aberto (exceto para resíduos de mineração), queima a céu aberto ou em instalações não licenciadas para tal finalidade, além de outras formas vedadas pelo poder público. Entre as prioridades do Plano Nacional de Recursos Hídricos para os anos de 2012 – 2015 (MMA, 2011), está a definição de projetos de implantação de sistemas de coleta e tratamento dos resíduos sólidos, além de sua destinação adequada. O PNRH também incentiva a elaboração de estudos para o aproveitamento dos resíduos gerados em ETAs.

Uma das soluções mais práticas para a destinação do LETA é sua disposição em aterros sanitários. Nestes locais, através de princípios da engenharia,

os resíduos sólidos são confinados à menor área possível, sendo também reduzidos aos menores volumes permissíveis. Tais áreas são cobertas com camadas de solo em intervalos de tempo, e após o fim de sua vida útil podem ser transformados em parques, áreas de lazer, praças de esportes, e outras estruturas de peso relativamente baixo (RIBEIRO, 2007).

Segundo Dharmappa *et al.* (1997), para o aceite do lodo em aterros sanitários, tal resíduo deve ser desidratado alcançando uma concentração de sólidos de 20% a 40%. De acordo com Wagner (2014), este tipo de alternativa é bastante utilizada no Brasil, principalmente em cidades de pequeno e médio porte, nas quais os aterros são relativamente próximos, o que torna tal disposição economicamente viável.

2.7.1 Reuso

Segundo Tsutiya e Hirata (2001), nos últimos anos diversas técnicas de reuso dos resíduos gerados nas ETAs têm sido foco de estudos, dentre estas podemos citar:

- a) Disposição no solo: a aplicação de LETA no solo pode contribuir para melhoria estrutural do solo, além do ajuste de pH, adição de traços mineralógicos, aumento da capacidade de retenção de água e melhoria das condições de aeração do solo. Sendo assim, o lodo das ETAs vem ganhando espaço no cultivo de grama e para o preparo de solo comercial para ser utilizado em vasos. No entanto, não é interessante utilizá-lo em solos agrícolas em virtude da baixa concentração de matéria orgânica e de nutrientes.
- b) Aplicação em ETAs: o LETA pode ser reutilizado no tratamento de águas com baixa turbidez, com o objetivo de melhorar a sedimentabilidade dos flocos, devido a quantidade de coagulantes inerente a este resíduo, diminuindo a dosagem de produtos químicos utilizados e, desta maneira, os custos desta etapa.
- c) Fabricação de cimento: lodos provenientes de ETAs podem ser introduzidos no processo de fabricação de cimento. Tais resíduos

apresentam em sua composição sílica, ferro e alumínio, matérias-primas comumente utilizadas. Outra vantagem é a redução de problemas de expansão e fissuras nas estruturas de concreto, devido à diminuição das concentrações de álcali que os óxidos de sódio e potássio proporcionam no cimento. Devem ser analisados porém, a quantidade de matéria orgânica e metais pesados no LETA, pois elevadas concentrações destes podem ser prejudiciais à qualidade do cimento.

- d) Fabricação de tijolos: lodos gerados em estações de tratamento de água apresentam propriedades físicas e químicas similares com as da argila e do xisto utilizados na produção de cerâmicas, tornando desta maneira viável sua utilização na fabricação de tijolos. No entanto, como no caso anterior a presença de alguns materiais pode ser prejudicial à qualidade do produto final, como a cal, alto teor de areia e de carvão ativado.
- e) Compostagem: a adição destes resíduos no processo de compostagem em leiras, com restos vegetais, resíduos sólidos domésticos e biossólidos têm apresentado resultados benéficos, como por exemplo, o ajuste da umidade, fornecimento de minerais, ajuste de pH e aumento do volume de composto.
- f) Aplicação no tratamento de águas residuárias: é possível se aproveitar das propriedades coagulantes existentes no LETA para o tratamento de águas residuárias. O processo pode se dar por meio da recuperação de coagulantes ou simplesmente com o lançamento destes nas estações de tratamento de esgoto via redes coletoras de esgoto. Dentre as vantagens está o aumento da eficiência do sistema de esgoto, e entre as desvantagens o aumento no volume de resíduos sólidos no sistema.

Barbosa (1997) promoveu o reaproveitamento da água de lavagem dos filtros da ETA de Rio Descoberto, Brasília – DF, e obteve resultados positivos. Após a clarificação e retirada do lodo presente neste resíduo, este retornava ao início do processo de tratamento. Concluiu-se que o retorno da ALAF não comprometia o desempenho da ETA. Além de evitar a descarga deste resíduo no corpo hídrico, eram reutilizados 170 l/s de água, da própria ETA, contribuindo para um benefício

energético (tal vazão não precisaria ser bombeada de um ponto mais distante, e com considerável desnível).

2.8 FÓRMULAS EMPÍRICAS PARA QUANTIFICAÇÃO DO LODO

Segundo Ribeiro (2007), a quantidade de resíduos gerada em uma ETA depende, principalmente, da qualidade da água bruta, tipo e dosagem de produtos químicos utilizados ao longo de seus processos e de seu desempenho funcional. A quantificação destes resíduos é importante no sentido de que tais informações servem como base tanto para os dimensionamentos dos sistemas de adensamento e desidratação quanto para a decisão nas formas de uso e disposição.

De acordo com Reali (1999), a produção de lodo em ETAs pode ser estimada através de dois parâmetros:

- a) Massa de sólidos secos presentes no lodo;
- b) Volume de água descartada que atua como veículo da massa de sólidos acima citada.

Ribeiro (2007) afirma que vários pesquisadores desenvolveram ao longo dos anos fórmulas empíricas para definir a produção de sólidos em ETAs, utilizando parâmetros de fácil obtenção como a turbidez e cor da água bruta, dosagem e tipo de coagulante utilizado, por exemplo.

Fórmula da American Water Work Association - AWWA (1996):

$$P = 3,5 \cdot T^{0,66} \quad (1)$$

Onde:

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

T - turbidez da água bruta (uT).

Fórmula de Kawamura (1991):

$$P = 1,5.T + k.D \quad (2)$$

Onde:

P – produção de sólidos; relação entre massa de matéria seca e volume de água tratada (g/m^3);

T - turbidez da água bruta (uT);

D - dosagem do coagulante (mg/L);

K - relação estequiométrica na formação do precipitado de hidróxido, sendo:

$K = 0,23$ a $0,26$ (sulfato de alumínio);

$K = 0,54$ (sulfato férrico);

$K = 0,66$ (cloreto férrico anidro);

$K = 0,40$ (cloreto férrico hidratado).

Fórmula do Water Research Center – WRC (1979) apud Reali (1999):

$$P = 1,2.T + 0,07.C + k.D + A \quad (3)$$

Onde:

P - produção de sólidos (g de matéria seca/ m^3 de água tratada);

T - turbidez da água bruta (uT);

C - cor da água bruta (uH);

D - dosagem do coagulante (mg/L);

k - coeficiente de precipitação, sendo:

$k = 0,17$ (sulfato de alumínio líquido);

$k = 0,39$ (cloreto férrico líquido);

A - outros aditivos presentes na etapa de coagulação, como carvão ativado em pó e polieletrólitos (mg/L).

Fórmula de Cornwell (1987)

$$P = 0,44. DSA + 1,5. T + A \quad (4)$$

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 - outros aditivos presentes na etapa de coagulação, como carvão ativado em pó e polieletrólitos (mg/L).

Fórmula de Richter (2001)

$$S = (0,2. C + K_1. T + K_2. D)/1000 \quad (5)$$

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 do coagulante (mg/L);

*K*₁ - 1,3;

*K*₂ - 0,26 (para o uso de sulfato de alumínio como coagulante).

A grande maioria das fórmulas empíricas acima apresentadas utiliza constantes relacionadas ao uso de sulfato de alumínio e cloreto férrico como coagulantes, Filho e Waelkens (2009) constataram que o uso de Policloreto de Alumínio (PAC) para este fim produz quantidade de lodo semelhante se comparada ao uso de sulfato de alumínio, Vilella (2011) argumenta que podem ser utilizadas as mesmas constantes para ambos os coagulantes.

Ribeiro (2007), estimou a quantidade de lodo gerada na ETA de Itabirito – MG, estimando-a através de fórmulas empíricas e medindo tal quantidade *in loco*. As quantidades de massa encontradas para cada método apresentaram diferenças

significativas, apontando para a necessidade de estudar-se as características do lodo de cada estação.

2.9 PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO DE UMA ETA

A norma NBR ISO 24512 (ABNT, 2012) define alguns objetivos para melhoramentos do sistema de abastecimento de água, os quais mencionam a proteção da saúde pública, satisfação de usuários, qualidade da prestação de serviços, sustentabilidade e proteção do meio ambiente.

A norma acima citada também sugere alguns indicadores para se analisar e comparar a gestão de resíduos destas e ainda sugere que as unidades gerenciadoras dos sistemas de abastecimento de água definam outros indicadores, de acordo com sua realidade. Os indicadores citados são:

- a) Porcentagem do lodo reutilizado ou reciclado após o tratamento (%);
- b) Porcentagem da água de lavagem de filtros reutilizada ou reciclada após tratamento (%).

Achon *et al.* (2013) propõem sete indicadores adicionais, a complementarem os sugeridos pela NBR ISO 24512. Tais indicadores são:

- a) Tipo de água utilizada na lavagem de decantadores e filtros (tratada, decantada ou bruta);
- b) Volume de lodo gerado nos decantadores em litros por volume de água tratada (L/m³);
- c) Volume de lodo gerado nos decantadores pela área total dos decantadores (m³/m²);
- d) Volume de ALAF gerada em litros por volume de água tratada (L/m³);
- e) Volume de ALAF gerada por área total dos filtros (m³/m²);
- f) Tratamento do lodo e da ALAF (tratamento inexistente, tratamento parcial ou tratamento total);
- g) Perda de água nas lavagens: volume de água utilizado na lavagem de decantadores e filtros por volume de água tratada (% e m³/hab.ano).

As Tabelas de 4 a 8 apresentam os resultados obtidos por Achon *et al.* (2013) para cinco ETAs diferentes, de acordo com os sete indicadores supracitados.

Na Tabela 4 podem-se observar os dados gerais das cinco ETAs analisadas, são apresentadas as populações abastecidas por cada uma delas, suas vazões médias anuais de operação e o tipo de coagulante utilizado.

Tabela 4 - Dados gerais das cinco estações de tratamento de águas (ETAs) analisadas

ETA	População abastecida	Vazão média anual de operação (L/s)	Coagulante utilizado
A	79.000	359	Cloreto férrico
B	260.000	675	Sulfato de alumínio
C	240.000	1.135	Sulfato de alumínio
D	112.200	411	Cloreto férrico
E	90.000	426	Sulfato de alumínio

Fonte: Achon *et al.* (2013).

Na Tabela 5, são apresentados os tipos de água utilizados para limpeza dos decantadores e dos filtros presentes nas ETAs analisadas. Os indicadores mostram se a água utilizada é tratada, decantada ou água bruta.

Tabela 5 - Indicadores relacionados ao tipo de água utilizada na lavagem de decantadores e filtros

ETA	Tipo de água utilizada na lavagem dos decantadores	Tipo de água utilizada na lavagem dos filtros
A	1	1
B	1	1
C	2	1
D	2	1
E	1	1

Indicador 1: utiliza água tratada para lavagem (após coagulação e desinfecção); Indicador 2: utiliza água decantada para lavagem (após coagulação); Indicador 3: utiliza água bruta para lavagem (anterior à coagulação).

Fonte: Achon *et al.* (2013).

Na Tabela 6, são apresentados os volumes de resíduos gerados nas ETAs em relação ao volume de água tratada, e às áreas totais dos decantadores (para o lodo) e dos filtros (para a ALAF).

Na Tabela 7, são apresentados os tipos de tratamento realizados para o lodo e água de lavagem dos filtros gerados nas ETAs analisadas. Os indicadores mostram se o volume gerado não é tratado, é parcialmente tratado, ou tratado.

Tabela 6 – Indicadores de volume de lodo gerado nos decantadores e de ALAF

ETA	Volume de lodo gerado nos decantadores por volume de água tratada (L/m ³)	Volume anual de lodo gerado nos decantadores pela área total dos decantadores (m ³ /m ²)	Volume de ALAF gerada por metro cúbico de água tratada (L/m ³)	Volume anual de ALAF gerada por área total dos filtros (m ³ /m ²)
A	20,51	750,15	30,36	1.603,33
B	Não é medido	Não é medido	Não é medido	Não é medido
C	21,72	372,26	8	1.331,37
D	Não é medido	Não é medido	Não é medido*	Não é medido*
E	Não é medido	Não é medido	Não é medido**	Não é medido**

* estimado em 6% do volume tratado; **estimado em 5% do volume tratado.

Fonte: Achon *et al.* (2013).

Tabela 7 – Indicadores de tratamento de lodo e água de lavagem de filtros (ALAF)

ETA	Lodo tratado	ALAF tratada
A	1	1
B	1	1
C	1	2
D	3	3
E	1	1

Indicador 1: o volume gerado não é tratado; Indicador 2: o volume gerado é parcialmente tratado; Indicador 3: o volume gerado é tratado.

Fonte: Achon *et al.* (2013).

Na Tabela 8, são apresentadas as perdas de água das ETAs analisadas. Foram coletados dados referentes ao volume de água descartado e, o volume de água perdida em relação ao volume total de água tratada. Também são mostradas as relações entre os volumes de água perdido e as respectivas populações abastecidas.

Tabela 8 – Indicadores de perdas de água nas lavagens de decantadores e filtro e na estação de tratamento de água (ETA), em relação ao volume de água tratada e população abastecida

ETA	Perda de água nas lavagens: volume de água descartado ¹ por volume de água tratada (%)	Perda de água na ETA em porcentagem: volume de água perdido ² na ETA por volume de água tratada (%)	Perda de água na ETA por habitante: volume de água perdido na ETA pela população abastecida [m ³ /(hab.ano)]
A	5,09	5,09 ³	7,18
B	Não é medido	2,64	2,13
C	2,97	3,12 ⁴	5,27
D	Não é medido. Estimado em 6%	Não é medido	6,95 ⁵

(continua)

Tabela 8 – Indicadores de perdas de água nas lavagens de decantadores e filtro e na estação de tratamento de água (ETA), em relação ao volume de água tratada e população abastecida

			(conclusão)
ETA	Perda de água nas lavagens: volume de água descartado ¹ por volume de água tratada (%)	Perda de água na ETA em porcentagem: volume de água perdido ² na ETA por volume de água tratada (%)	Perda de água na ETA por habitante: volume de água perdido na ETA pela população abastecida [m ³ /(hab.ano)]
E	Não é medido. Estimado em 5%	Não é medido	7,50 ⁵

¹volume descartado = volume de água utilizado na lavagem de decantadores e filtros, durante a remoção de lodo (descargas de fundo de decantadores) e antes da lavagem dos decantadores (volume das unidades – flutuadores e decantadores); ²volume perdido = diferença entre o volume medido na saída e na entrada da ETA; ³a ETA A não mede o volume perdido; porém, considera-se aquele descartado como o total perdido na ETA; ⁴a ETA C não mede o volume perdido; no entanto, considera como perdas de água aquele descartado mais o de água consumido internamente na ETA, menos o volume de ALAF recuperado; ⁵para aplicação deste indicador nas ETAs D e E, considerou-se apenas o volume descartado, que é estimado.

Fonte: Achon *et al.* (2013).

2.10 PANORAMA MUNDIAL

Segundo Cornwell *et al.* (2000), até o ano de 2000 apenas 11% das estações de tratamento de água estadunidenses descarregavam seus resíduos diretamente nos corpos de água, 25% aplicavam o lodo no solo, 24% lançavam-no na rede de esgotamento sanitário, 20% utilizavam como disposição final aterros sanitários, 13% em aterros exclusivos e 7% aplicavam outro tipos de destinação, como mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Disposição final de resíduos provenientes de ETAs estadunidenses

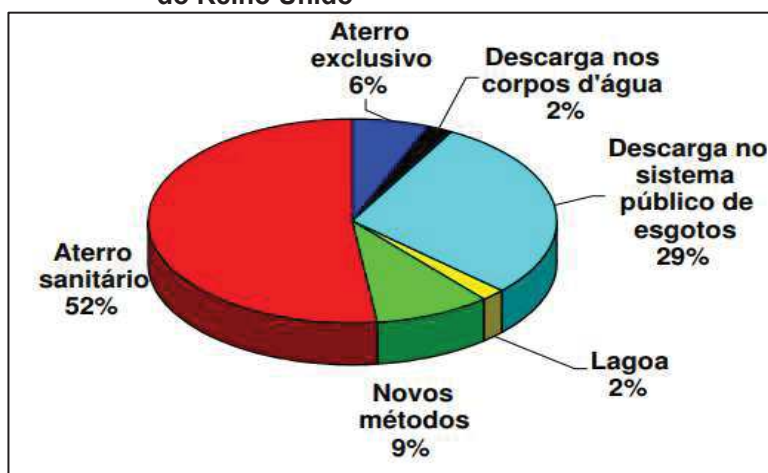


Fonte: Adaptado de Cornwell *et al.* (2000).

No Reino Unido, segundo Simpson et al. (2002), 52% das ETAs dispõem o LETA gerado em aterros sanitários, 29% lançam tal resíduo na rede de esgoto, 9% têm novos métodos (aplicação no solo, recuperação de áreas degradadas, incorporação em materiais de construção), 6% dispõem-nos em aterros exclusivos e 2% em lagoas e somente 2% diretamente em corpos hídricos, como mostrado na Figura 8.

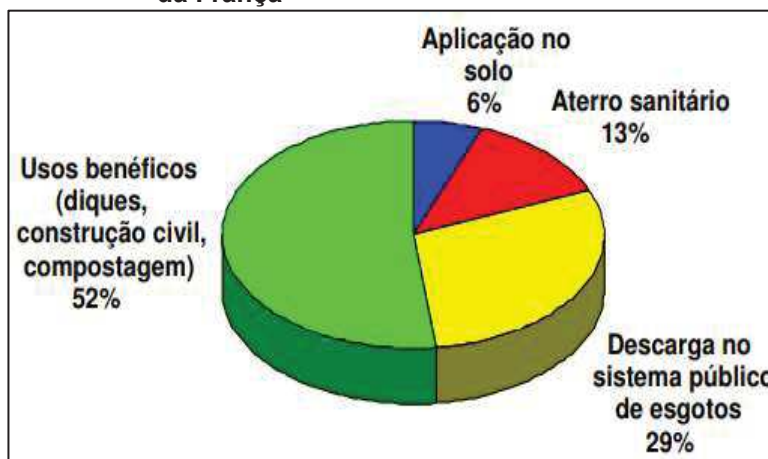
Na França o lodo gerado tem as seguintes destinações: 53% na construção civil, diques e compostagem, 30% é descarregado no sistema público de esgotos, 13% é disposto em aterros sanitários e 6% aplicado no solo, tais percentagens são apresentadas na Figura 9 (ADLER, 2002).

Figura 8 – Disposição final de resíduos provenientes de ETAs do Reino Unido



Fonte: Adaptado de Simpson et al (2002).

Figura 9 – Disposição final de resíduos provenientes de ETAs da França



Fonte: Adaptado de Adler (2002).

No Brasil, como dito anteriormente, a maioria das ETAs foi implantada antes de existirem leis efetivas, que exigissem o licenciamento ambiental para atividades geradoras de poluentes. Foram analisadas 22 ETAs de uma Sub-bacia Hidrográfica do estado de São Paulo e foi constatado que 86% delas lançam o lodo em corpos de água, 9% apresentam Unidades de Tratamento de Resíduos e, 5% encaminham este resíduo para os sistemas de esgoto (ACHON; CORDEIRO, 2015).

No Estado de Minas Gerais foram analisadas informações acerca do gerenciamento dos resíduos das ETAs de 175 municípios, foi constatado que 87% das ETAs dos municípios mineiros estudados lançam o lodo em corpos de água sem tratamento (MPMG, 2009).

Tal situação pode ser vista análoga à do país como um todo, pois segundo Ribeiro (2003), no Brasil ainda a grande maioria das estações de tratamento de água lançam seus resíduos sem nenhum tratamento nos corpos hídricos mais próximos.

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

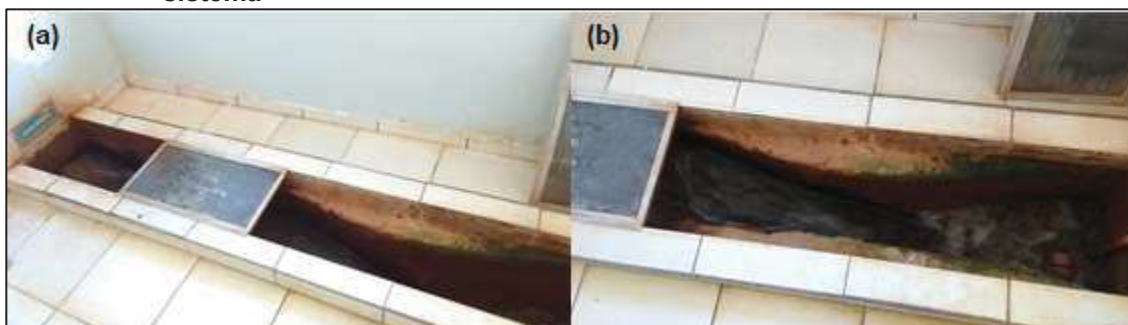
A ETA a ser estudada foi projetada para operar uma vazão de 444,8 m³/h, com produção média de 10.974,9 m³/dia e atendendo cerca de 62.288 pessoas.

Apresenta dois sistemas de tratamento de água que operam simultaneamente, exceto quando é necessário realizar alguma manutenção ou limpeza de um deles. A ETA apresenta ciclo completo, com as seguintes etapas:

- a) Captação.
- b) Adução.
- c) Coagulação.
- d) Floculação.
- e) Decantação.
- f) Filtração.
- g) Cloração.
- h) Fluoretação.

O coagulante utilizado na Estação de Tratamento de Água analisada é o Policloreto de Alumínio, dosado conforme a necessidade constatada nas análises da água bruta. Para coagulação um sistema de dosagem dotado de uma calha Parshall, Figuras 10a e 10b, faz com que a água passe para o regime torrencial, cuja agitação rápida auxilia na mistura. A água depois disto passa através de canaletas para os dois sistemas de tratamento em operação na ETA.

Figura 10a – Calha Parshall existente na ETA, Figura 10b – Agitação rápida promovida no sistema



Fonte: Autor (2018).

A floculação ocorre através de sistemas de pás mecânicas, que giram lentamente, auxiliando a reação química. Após isso, a água é conduzida para os decantadores através de chicanas, que são uma espécie de “zigue-zague” de paredes de concreto, projetadas para reduzir a velocidade da água até a chegada aos decantadores. As chicanas estão representadas na Figura 11.

Figura 11 – Chicanas, estruturas de concreto para diminuir a velocidade da água



Fonte: Autor (2018).

Cada um dos dois decantadores tem capacidade de 600 m³ de volume e apresentam sistemas de descarga ao fundo, para operações de limpeza e manutenção bimestral. Para auxiliar na limpeza, um dos colaboradores da ETA desce pela chicana e adentra o decantador através da ligação entre estes, devido à presença de telas verticais na superfície do mesmo. O decantador está apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Decantador da Estação de Tratamento de Água analisada



Fonte: Autor (2018).

A etapa seguinte aos decantadores são os filtros. A ETA em questão apresenta quatro filtros, compostos de dupla camada (camada suporte com pedrisco, areia e carvão ativado), que são limpos diariamente, além de uma limpeza mais minuciosa com remoção da camada filtrante uma vez por mês.

Por fim, a água passa pelas etapas de cloração e fluoretação, sendo então reservada e distribuída.

3.2 MÉTODOS

Nesta seção, são apresentados os processos metodológicos aplicados nesta pesquisa para atingir os objetivos específicos. Em ordem, as etapas são:

- a) Coleta de dados operacionais da ETA.
- b) Obtenção e caracterização de lodo dos decantadores.
- c) Quantificação do lodo gerado nos decantadores.
- d) Obtenção e caracterização da água de lavagem dos filtros.

3.2.1 Dados Operacionais da ETA

Para a obtenção dos parâmetros operacionais da Estação de Tratamento de Água, estes foram levantados junto à equipe de funcionários da mesma, além de observação direta. Também foi elaborado um protocolo com todos os dados a serem levantados, o qual foi enviado à área responsável à liberação dos mesmos. Tais dados são:

- a) Volume de água tratada durante o período de análise.
- b) Frequência da lavagem dos filtros.
- c) Frequência de limpeza dos decantadores.
- d) Dimensões dos decantadores.
- e) Dimensões dos filtros.
- f) Tipo de coagulante utilizado.
- g) Turbidez, cor e teor de metais da água bruta durante o período de análise.

- h) Dosagem de coagulante e de outros aditivos durante o período de análise (mg/L).
- i) Parâmetros de classificação de uma ETA, apresentados na seção 2.8.

3.2.2 Obtenção e Caracterização do Lodo do Decantador

Antes do início da lavagem dos decantadores, foi coletada, com o auxílio de um balde, uma amostra de lodo de cerca de 15 L, por um dos funcionários habilitados a adentrar no local.

Uma parte da amostra de lodo coletada (cerca de 2L) foi enviada a um laboratório com certificação junto ao INMETRO - ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005 para análise. Ressalta-se que tal amostra manteve a temperatura de 2 a 8 graus durante o percurso, como recomendado pelo laboratório.

Os parâmetros físico-químicos ensaiados estão apresentados na Tabela 9 e são os mesmos ensaiados por Cordeiro (2001) para lodos de diferentes ETAs, exceto no que diz respeito aos metais, onde foram analisadas somente as concentrações de ferro e alumínio, devido a questões técnicas.

As análises foram realizadas em laboratório segundo a metodologia descrita por APHA (1998): “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”.

Tabela 9 – Variáveis físico-químicas a serem analisadas para o lodo

Parâmetros	Unidade
Concentração de sólidos	%
pH	-
Turbidez	(<i>uT</i>)
DQO	(mg/L)
Sól. totais	(mg/L)
Sól. suspensos	(mg/L)
Sól. dissolvidos	(mg/L)
Alumínio	(mg/L)
Ferro	(mg/L)

Fonte: Adaptado de Cordeiro (2001).

3.2.3 Quantificação do Lodo Gerado nos Decantadores

Para se obter a quantidade de lodo gerada durante o período de análise, foram utilizadas fórmulas empíricas descritas na seção 2.8, as quais relacionam parâmetros qualitativos da água bruta e a dosagem de coagulantes, além da medição *in loco*, para que se verifique a aplicação das mesmas neste caso específico. Este segundo método consistiu na estimativa da quantidade de lodo produzido nos decantadores através da multiplicação dos parâmetros dimensões em planta dos decantadores, teor de sólidos totais e altura da camada deste resíduo. Além disso, foi adicionado a este valor, o lodo presente nos filtros, através do produto do teor de sólidos encontrado na ALAF pelo volume deste resíduo, como realizado por Ribeiro (2007).

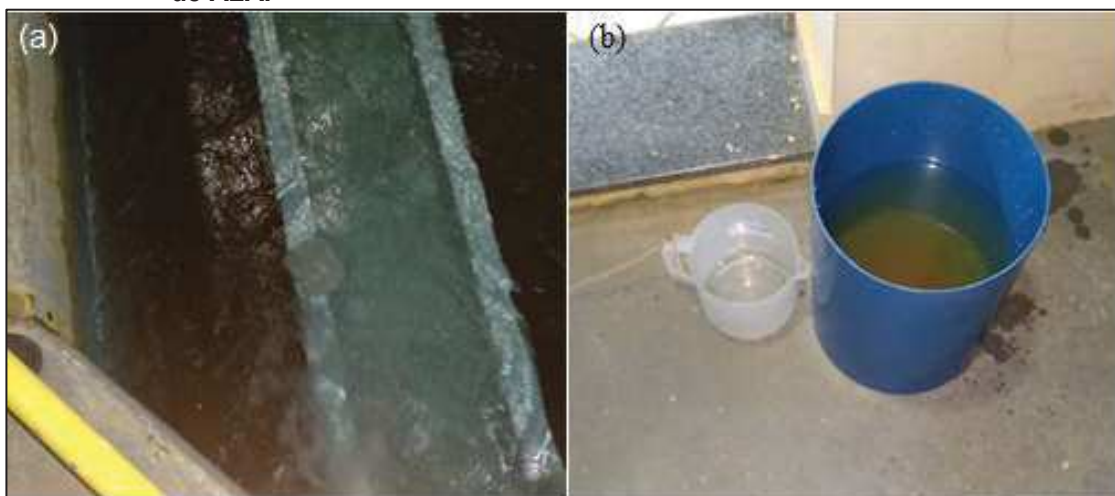
Foram medidas as produções de lodo uma vez para cada um dos dois decantadores, como as lavagens de ambos não ocorrem no mesmo dia, foram assumidas produções médias diárias de lodo para cada um dos dois decantadores através da divisão da produção medida pelo período de acúmulo respectivo. Para se chegar à produção total no período foram somadas as médias de produção de cada decantador e tal valor foi multiplicado pela quantidade de dias de análise.

3.2.4 Obtenção e Caracterização da Água de Lavagem de Filtro

A ALAF foi coletada durante a realização da lavagem dos filtros. Um dos funcionários habilitados a adentrar o local coletou o resíduo com um recipiente em uma mesma localidade do filtro, a cada 30 segundos durante a realização do processo, para obtenção de uma amostra composta, como realizado por Ribeiro (2007). A coleta da ALAF e os recipientes utilizados estão representados nas Figuras 13a e 13b.

Os parâmetros físico-químicos analisados estão apresentados na Tabela 10, os quais são os mesmos analisados por Reali (1999), entretanto, assim como no lodo, os metais testados foram apenas Ferro e Alumínio, uma vez que se acredita que outros metais tenham origem na água bruta e não no processo de tratamento.

Figura 13a – Coleta de ALAF na ETA, Figura 13b – Recipientes utilizados para a coleta de ALAF



Fonte: Autor (2018).

Tabela 10 – Variáveis físico-químicas a serem analisadas para a água de lavagem de filtros

Parâmetros	Unidade
pH	-
Cor aparente	(u C)
Turbidez	(u T)
DQO	(mg/L)
Sól. totais	(mg/L)
Sól. totais fixos	(mg/L)
Sól. totais voláteis	(mg/L)
Sól. suspensos totais	(mg/L)
Sól. suspensos fixos	(mg/L)
Sól. suspensos voláteis	(mg/L)
Alcalinidade	(mg/L de CaCO ₃)
Dureza	(mg/L de CaCO ₃)
Metais	Fe (mg/L)
	Al (mg/L)

Fonte: Adaptado de Cordeiro (2001).

A caracterização segundo os parâmetros apresentados na Tabela 10 seguem a metodologia descrita por APHA (1998): “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção apresenta os resultados referentes à pesquisa realizada, bem como discussões críticas a respeito dos dados encontrados.

4.1 METODOLOGIA DE LIMPEZA DE DECANTADORES E FILTROS

4.1.1 Limpeza de decantadores

A ETA estudada foi analisada durante o período de 09 de junho até 14 de agosto de 2018. Durante este período foram realizadas duas lavagens de decantador e, 66 lavagens de filtros.

O processo de limpeza dos decantadores se dá inicialmente pelo fechamento do registro anterior a este, interrompendo o fluxo de água. Após isto, um dos funcionários desce com o auxílio de uma escada por uma abertura nas chicanas, como mostrado na Figura 14. Uma vez na chicana, o funcionário tem acesso ao decantador. O sistema de descarga encontrado no fundo do decantador é aberto e o funcionário com o auxílio de uma mangueira de água pressurizada promove a remoção do lodo. A descarga de fundo lança o lodo gerado em um corpo hídrico, e são gastos aproximadamente 600 m³ de água bruta para tal limpeza.

Figura 14 – Funcionário adentrando as chicanas para acessar os decantadores



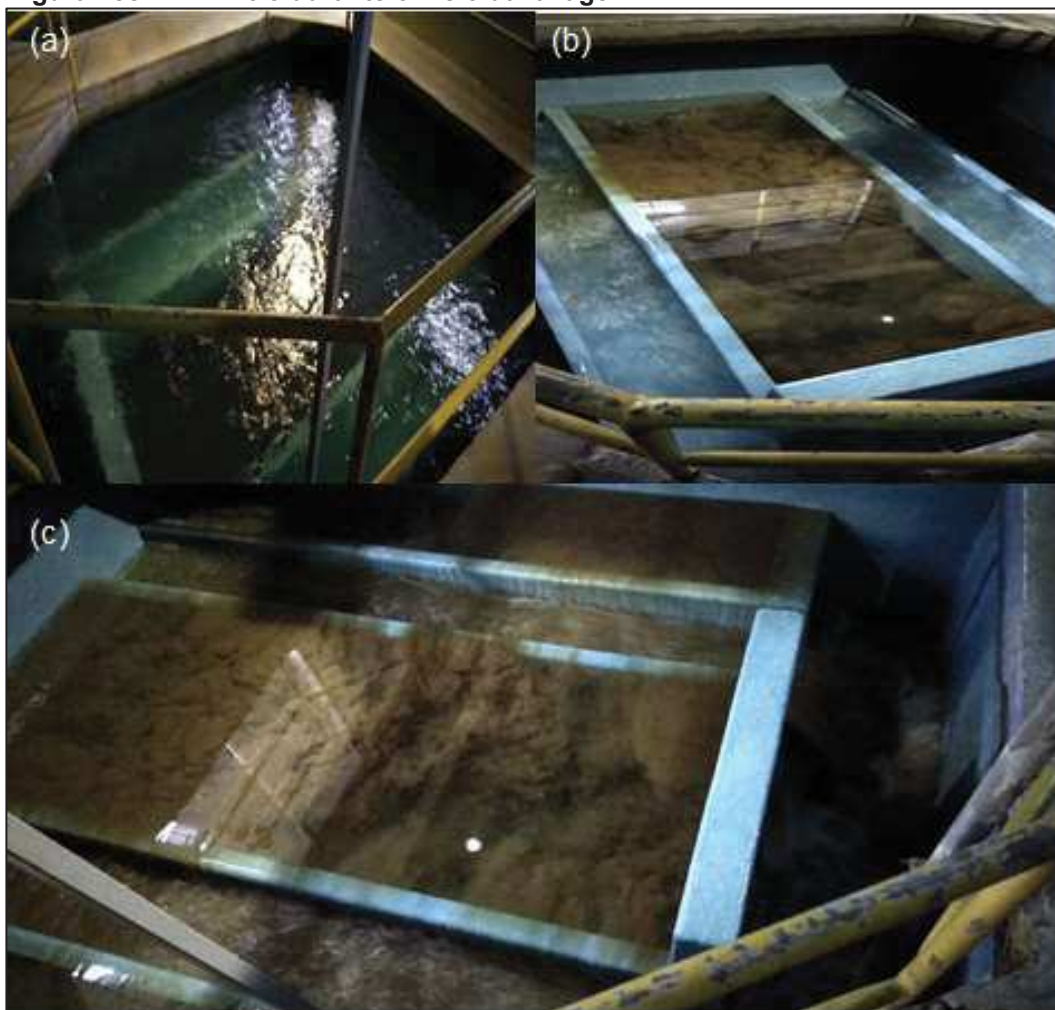
Fonte: Autor (2018)

A limpeza propriamente dita não pôde ser documentada devido à baixa luminosidade e às telas verticais encontradas na parte superior dos decantadores, tais como citadas e mostradas na seção 3.1.

4.1.2 Limpeza dos filtros

Os filtros são lavados da seguinte maneira: Inicialmente o registro anterior ao filtro a ser lavado é fechado, interrompendo o fluxo de água. Uma vez que tal fluxo está interrompido, o sistema de descarga do filtro é acionado, e uma retrolavagem se inicia, ou seja, a água já tratada retorna do reservatório em fluxo ascendente para o filtro, levando consigo as impurezas presentes neste para o corpo hídrico através do sistema de descarga.

Figura 15a – Filtro antes da lavagem, Figura 15b – Filtro no início da lavagem, Figura 15c – Filtro durante o meio da lavagem



Fonte: Autor (2018).

O filtro antes da lavagem está representado na Figura 15a, o mesmo durante o início e meio da lavagem estão representados nas Figuras 15b e 15c respectivamente. Nestas figuras, chama-se atenção para o aspecto da água nos diferentes momentos, onde inicialmente a maioria dos sólidos apresentam-se junto à camada filtrante e no decorrer da lavagem vão se misturando à água de lavagem, acompanhando seu fluxo ascendente. A lavagem é interrompida quando a água de lavagem parece “limpa”, indicando que os sólidos que estavam presentes no filtro já foram para o sistema de descarga.

4.2 DADOS OPERACIONAIS DA ETA

Os valores de turbidez e cor médias da água bruta, volume tratado e dosagem média de coagulante durante o período estão apresentados na Tabela 11, na qual se ressalta que não foram utilizados outros aditivos para a coagulação. Além disso, a Tabela 11 apresenta a frequência de lavagens dos filtros e decantadores e suas dimensões, o coagulante utilizado na ETA e os volumes de resíduos gerados no período de análise.

Parâmetros	Resultado
Período de acúmulo (dias)	66
Dosagem média de coagulante (mg/L)	8,36
Turbidez média (uT)	23,04
Cor aparente média (uH)	157,92
Alumínio (mg/L)*	0,1250
Ferro (mg/L)*	< 0,0500
Vol. de água bruta tratada no período (m³)	724.343,40
Frequência de lavagem dos filtros	Diária
Frequência de limpeza dos decantadores	Mensal
Dimensões dos decantadores em planta (mXm)	12,20x5,50
Dimensões dos filtros em planta (mXm)	3,20x3,40 e 4,50x2,60**
Prod. média diária de lodo Decantador 1 (L/dia)	877,55
Prod. média diária de lodo Decantador 2 (L/dia)	1.016,95
Prod. média diária de lodo nos decantadores (L/dia)	1.894,50
Coagulante utilizado	PAC
Vol. de lodo gerado no período (m³)	125,04
Vol. de ALAF estimada no período (m³)	16.583,10

* análises mais próximas do período, realizadas em Maio de 2018.

** existem 3 filtros com as dimensões 3,20x3,40m e 1 com as dimensões 4,50x2,60m

Fonte: Autor (2018).

Em 66 dias de análise, a dosagem média de PAC utilizada foi de 8,36 mg/L, a turbidez média apresentada foi de 23,04 uT, e a cor aparente média 157,92 uH.

A limpeza dos decantadores ocorre mensalmente, e dos filtros diariamente. Para um volume de água tratada de 724.343,40 m³ foram gerados 125,04 m³ de lodo nos decantadores e 16.583,10 m³ de água de lavagem dos filtros.

Tais dados são importantes, pois são características da ETA que servem de base para a estimativa da quantidade de resíduos gerada via fórmulas empíricas, e para a verificação da eficiência de seus processos produtivos e de gerenciamento.

4.3 PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO DA ETA QUANTO AO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

Os parâmetros de classificação de uma ETA, compostos por indicativos que relacionam os volumes de resíduos produzidos com características operacionais da ETA, além das políticas de gerenciamento destes, estão apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Indicativos de gerenciamento dos resíduos na ETA analisada

Parâmetros	Resultado
População abastecida (habitantes)	62.288
Vazão média anual de operação (L/s)	123,56
Porcentagem do lodo reutilizado ou reciclado após o tratamento (%)	0,00
Porcentagem da água de lavagem de filtros reutilizada ou reciclada após tratamento (%)	0,00
Tipo de água utilizada na lavagem dos decantadores	Bruta
Tipo de água utilizada na lavagem dos filtros	Tratada
Volume de lodo gerado nos decantadores por volume de água tratada (L/m³)	0,1726
Volume anual estimado de lodo gerado nos decantadores pela área total dos decantadores (m³/m²)	5,1527
Volume de ALAF gerada por metro cúbico de água tratada (L/m³)	22,8940
Volume anual estimado de ALAF gerada por área total dos filtros (m³/m²)	2.068,33
Lodo tratado	inexistente
ALAF tratada	inexistente
Perda de água nas lavagens: volume de água descartado¹ por volume de água tratada (%)	2,29
Perda de água na ETA em porcentagem: volume de água perdido² na ETA por volume de água tratada (%)	2,29
Perda de água na ETA por habitante: volume de água perdido na ETA pela população abastecida [m³/(hab.ano)]	1,4725

¹volume descartado = volume de água utilizado na lavagem de decantadores e filtros, durante a remoção de lodo (descargas de fundo de decantadores) e antes da lavagem dos decantadores (volume das unidades – flutuadores e decantadores); ²volume perdido = diferença entre o volume medido na saída e na entrada da ETA.

Fonte: Autor (2018).

Observa-se na Tabela 12 que os resíduos gerados na ETA não são reutilizados ou reciclados, assim como não é realizado tratamento para estes resíduos.

Ainda na Tabela 12, o volume de lodo gerado por volume de água tratado, por outro lado, apresenta valor consideravelmente baixo se comparado com o mostrado na revisão bibliográfica: a ETA gera cerca de 0,17 litros de lodo para cada metro cúbico de água tratada, enquanto duas das ETAs apresentadas por Achon et al. (2013) (conforme Seção 2.9) geram um valor de cerca de 20 L/m³ deste mesmo resíduo, o que poderia ser justificado pelas características da água bruta captada, ou pelo diferente coagulante utilizado; na bibliografia não foram encontrados dados para ETAs que utilizem o PAC como coagulante primário.

O volume anual estimado de lodo gerado nos decantadores pela sua área total também está abaixo do que encontrado na literatura: cerca de 5,15 m³/m² contra 372,26 e 750,15 m³/m² para ETAs supracitadas, a relação extremamente menor pode se justificar devido ao tipo de coagulante utilizado e ao fato de ter sido usada uma média diária baseada em 66 dias de observação, que podem não representar com tanta certeza a produção de lodo durante todo o ano. O volume anual estimado de ALAF gerada por área total dos filtros, 2.068,33 m³/m², por outro lado, apresenta valor maior do que o apresentado por Achon et al. (2013), 1.603,33 e 1.331,37 m³/m² o que pode indicar gasto maior do que o necessário para a limpeza de filtros. O volume de água descartado e a perda de água nas lavagens, 2,29%, é levemente inferior do que os também apresentados por Achon et al. (2013), a perda de água na ETA por habitante, 1,4725 m³/(hab.ano), se encontra de 1,44 a 5 vezes menor do que o levantado pelo mesmo autor.

Portanto, analisando a Tabela 12, em geral os indicadores, excetuando os que dizem respeito ao tratamento e disposição, ou seja, os de geração de resíduos, apresentaram-se positivos frente aos utilizados para comparação.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE DECANTADOR

O resultado das análises realizadas para a amostra de lodo dos decantadores está apresentado na Tabela 13

Pode-se observar que a quantidade de sólidos totais apresenta valor elevado, a quantia de 158.500 mg/L é equivalente a 15,85% da amostra, valor quase 4 vezes maior do que se comparado com Cordeiro (2001). O Potencial Hidrogeniônico (pH) de 7,74 se encontra dentro da faixa apresentada na revisão bibliográfica, que é de 6 a 8.

Tabela 13 – Características do lodo de decantador da ETA analisada

Parâmetros	Resultado
pH	7,74
DQO (mg/L)	NR
Sólidos Totais (mg/L)	158.500
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	NR ¹
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	NR ¹
Ferro (mg/L)	16.476,10
Alumínio (mg/L)	10.351,17

¹NR = Não realizado

Fonte: Autor (2018).

A concentração de ferro por volume de lodo, 16.476,10 mg/L é superior aos 4.200 e 5.000 mg/L apresentados na bibliografia, para ETAs com frequência de remoção de lodo parecida, como a ETA não utiliza coagulantes férricos, tal concentração tem origem mais provável nas características da água bruta. A concentração de Alumínio encontrada (10.351,17 mg/L) tem valor menor se comparado a uma das ETAs supracitadas, que apresenta 11.100 mg/L, porém apresenta valor muito maior que a segunda, que apresenta 30 mg/L, ressalta-se que grande parte deste metal é proveniente do coagulante utilizado, o Policloreto de Alumínio.

4.5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTRO

O resultado da análise da amostra de água da lavagem de filtros está apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Variáveis físico-químicas da água de lavagem de filtro da ETA analisada

Parâmetros	Resultado ¹	Intervalo encontrado na literatura ²
pH	7,09	6,9 – 8
Cor aparente (uC)	350	200 – 2.690
Turbidez (uT)	93,50	58 – 171
DQO (mg/L)	<10,00	25 – 52
Sól. totais (mg/L)	138,00	88 – 367
Sól. totais fixos (mg/L)	101,00	65 – 157
Sól. totais voláteis (mg/L)	37,00	23 – 210
Sól. suspensos fixos (mg/L)	88,33	48 – 230
Sól. suspensos voláteis (mg/L)	28,33	17 – 83
Alcalinidade (mg/L de CaCoO ₃)	22,27	12,6 – 37
Dureza (mg/L de CaCO ₃)	15,84	12 – 40,8
Fe (mg/L)	0,0071	6,5 – 700
Al (mg/L)	<0,015	0,3 – 0,8

Fontes: ¹Autor (2018); ²Reali (1999).

Pode-se observar que os valores de pH, cor aparente e turbidez estão dentro dos intervalos encontrados na literatura. O valor de DQO encontrado, menor que 10,00 mg/L apresenta valor inferior aos apresentados na revisão bibliográfica. Os valores encontrados para os sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis se encontram dentro das faixas apresentadas na literatura.

O mesmo ocorre para os valores de alcalinidade e de dureza, que também estão entre as faixas levantadas.

No que diz respeito aos metais, a concentração de ferro, 0,0071 mg/L e alumínio, menor que 0,015 mg/L se situam muito abaixo das concentrações mostradas na bibliografia, que ficaram entre 6,5 a 700 mg/L e 0,3 a 0,8 mg/L respectivamente.

4.6 QUANTIFICAÇÃO DO LODO GERADO NOS DECANTADORES

Através dos dados apresentados na seção 4.2 (Tabela 11) podem-se aplicar as fórmulas empíricas descritas na Seção 2.8 (Equações de 1 a 5) para estimar a produção de sólidos. Os resultados obtidos para as diferentes equações e para a medição *in loco* estão apresentados na Tabela 15.

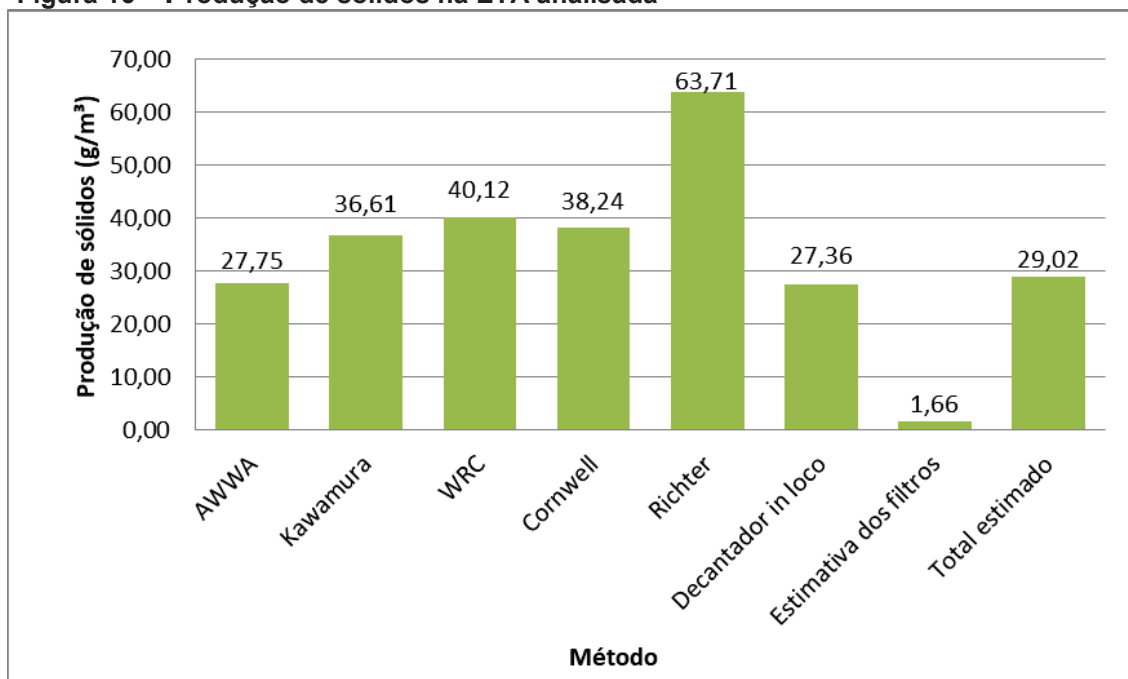
Tabela 15 – Produção de sólidos na ETA analisada

Método	Produção de sólidos (g/m ³)	Produção de sólidos no período (ton)
AWWA	27,75	20,10
Kawamura	36,61	26,52
WRC	40,12	29,06
Cornwell	38,24	27,70
Richter	63,71	46,15
Medido <i>in loco</i> nos decantadores	27,36	19,82
Estimado proveniente da ALAF	1,66	2,29
Total estimado	29,02	22,11

Fonte: Autor (2018).

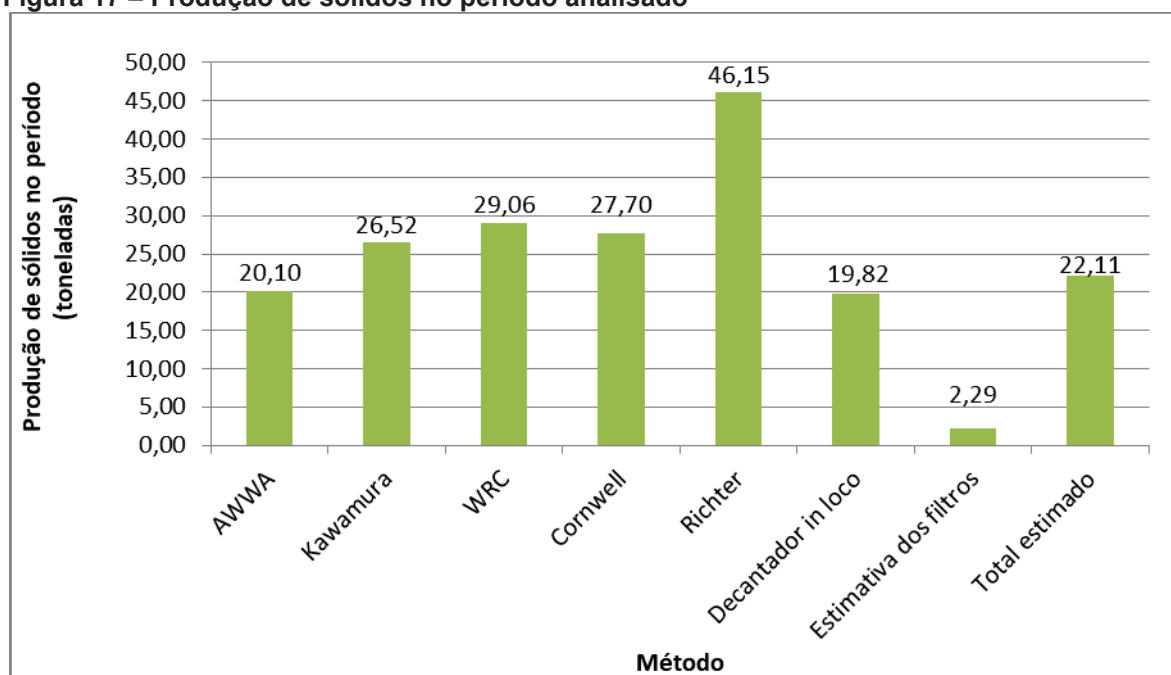
É interessante comparar os valores obtidos segundo diferentes metodologias, pois as fórmulas empíricas estimam a produção de sólidos utilizando características da água bruta e coagulantes como variáveis e a medição *in loco* estima a mesma produção através da multiplicação da quantidade de sólidos totais presentes no resíduo pelo volume de material produzido, tanto para os decantadores quanto para a água de lavagem dos filtros. Os resultados apresentados na Tabela 15 estão demonstrados graficamente nas Figuras 16 e 17.

Figura 16 – Produção de sólidos na ETA analisada



Fonte: Autor (2018).

Figura 17 – Produção de sólidos no período analisado



Fonte: Autor (2018).

Pode-se observar que a fórmula empírica que mais se aproximou do valor medido *in loco* foi a de AWWA (1996), entretanto, a mesma apresentou valor abaixo do medido, subestimando a produção, o que pode acarretar em problemas caso sejam dimensionados sistemas de tratamento e disposição final utilizando tal fórmula. Todas as outras fórmulas empíricas superestimaram, mesmo que pouco, a produção de lodo, com exceção de Richter (2001), a qual mais que dobrou o valor medido. Acredita-se que, para efeito de projeto, possam ser utilizadas tais fórmulas de Kawamura (1991), WRC (1979) e Cornwell (1987). Destaca-se também que a quantidade de sólidos gerada nos filtros é pequena se comparada com a gerada nos decantadores, aproximadamente sete vezes menor.

5 CONCLUSÃO

Diante do exposto, entende-se que no que concerne à metodologia de tratamento e disposição final dos resíduos gerados em seus processos de tratamento, a ETA não apresenta nenhum tipo de tratamento para o lodo nem para a água de lavagem dos filtros, ambos também têm como destinação um corpo hídrico, o que pode contribuir para um quadro de prejuízo ambiental, sugere-se que sejam realizadas análises de qualidade da água nos pontos de descarga para que se chegue a uma conclusão precisa. Ressalta-se que o processo de disposição final de resíduos da ETA estudada está em desacordo com a Lei 12.305, Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), que entre outras diretrizes proíbe a destinação ou disposição final de resíduos sólidos através do lançamento destes em quaisquer corpos hídricos, entretanto segundo a Resolução SEMA nº 21 (PARANÁ, 2009) as ETAs que apresentam vazão entre 30 L/s e 500L/s tem até dez anos contados a partir da publicação da mesma para adequarem seus sistemas de tratamento e disposição de resíduos. Desta forma, uma vez que o estudo foi realizado no ano de 2018 e a ETA apresenta vazão de 123,56 L/s, até então a mesma está dentro do prazo estipulado.

No que diz respeito à quantificação dos resíduos, a quantidade de lodo gerada pode ser considerada baixa se comparada com a bibliografia levantada. Por outro lado, o volume de ALAF gerado por área de filtro apresentou valor superior ao comparado com a bibliografia, o que pode indicar gasto maior do que o necessário para a lavagem dos mesmos. O volume de água descartado e a perda de água nas lavagens, 2,29% apresentam valores menores do que os apresentados na bibliografia. A perda de água na ETA por habitante, 1,4725 m³/(hab.ano), encontra-se de 1,44 a 5 vezes menor do que o levantado da literatura.

As análises físico-químicas para caracterização do lodo demonstraram que tal resíduo gerado na ETA estudada apresenta teor de sólidos totais elevado, quase 4 vezes maior do que se comparado à bibliografia consultada, a concentração de ferro também apresenta valor superior a literatura, as concentrações de alumínio e o pH encontrados estão dentro da faixa encontrada em levantamento bibliográfico.

Quanto aos resultados das análises físico-químicas para a ALAF, pode-se concluir que os valores de pH, cor aparente e turbidez encontrados, estão entre os intervalos apresentados na bibliografia; o valor de DQO encontrado, menor que

10,00 mg/L apresenta valor inferior aos apresentados na revisão bibliográfica; os valores encontrados para os sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis se encontram dentro das faixas apresentadas na literatura. Ocorre o mesmo para as concentrações de sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis, que também se encontram dentro das faixas apresentadas na literatura. Os valores de alcalinidade e dureza apresentam valor entre o intervalo apresentado na bibliografia. No que diz respeito aos metais, a concentração de ferro, 0,0071 mg/L e alumínio, menor que 0,015 mg/L se situam muito abaixo das concentrações mostradas na bibliografia, que ficaram entre 6,5 a 700 mg/L e 0,3 a 0,8 mg/L respectivamente.

Quanto à aplicação de fórmulas empíricas para a ETA analisada, observou-se que o valor estimado através da proposta por AWWA (1996) subestimou a produção em comparação com a medição *in loco*, a fórmula sugerida por Richter (2001) superestimou em quase o dobro tal produção e as de Kawamura (1991), WRC (1979) e Cornwell (1987) aproximaram-se do valor aferido, superestimando um pouco a produção, para efeito de projeto, acredita-se que estas três últimas possam ser utilizadas.

Recomenda-se que se continuem as medições da geração de resíduos na ETA até a obtenção de dados que representem bem as variações sazonais que eventualmente ocorram. Com posse destes dados também recomenda-se que sejam dimensionados sistemas de tratamento e disposição final adequados, e como a concentração de sólidos encontrada foi elevada, acredita-se que a desidratação para aplicação em aterros sanitários ou aplicação no solo sejam as melhores escolhas, segundo Richter (2001), para a descarga em redes de esgoto a concentração de sólidos deve ser inferior a 8%, o que seria inviável pois a concentração encontrada foi de 15,85%. Ainda, sugere-se que sejam realizados ensaios de coagulação para a água de lavagem de filtro ("*jar-tests*") e caso verifique que tal efluente necessite de menor dosagem de coagulantes do que a água bruta recomenda-se estudar a viabilidade de se lançar tal resíduo para o início do processo de tratamento, o que pode otimizar a dosagem de coagulantes e reduzir as perdas de água de estação de tratamento de água, segundo Kawamura (2000), devem ser realizados processo de desinfecção para a água de lavagem de filtro caso suspeite-se que este contenha microrganismos prejudiciais à saúde humana.

REFERÊNCIAS

ABOY, N. **Secagem Natural e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água (LETAs)**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 1999.

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. **Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: desafio do saneamento brasileiro**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v.18, n.2, p.115-122, abr./jun. 2013.

ACHON, C. L.; CORDEIRO, J.S. **Destinação e disposição final de lodo gerado em ETA - Lei 12.305/2010**. In: XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento. 45º Assembleia nacional do ASSEMAE, de 24 a 29 de maio de 2015, Poços de Caldas, MG, Brasil, 2015. 8p

ACHON, C. L.; MEGDA, C. R.; SOARES, L. V. **Impactos ambientais provocados pelo lançamento in natura de lodos provenientes de estações de tratamento de água**. In: ICTR 2004 – Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável, Florianópolis, SC, 2004.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004 – **Resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 24512 – **Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto** – Diretrizes para a gestão dos prestadores de serviços de água e para a avaliação dos serviços de água potável. Rio de Janeiro, 2012.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standards Methods for the examination of Water and Wastewater**, USA, 1998.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). **An Assessment of Cropland Application of Water Treatment Residuals**. USA: AWWARF, 1995.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS; U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.

Management of Water Treatment Plant Residuals. American Society of Civil Engineers, New York, 1996.

BABATUNDE, A. O.; ZHAO, Y. Q. **Constructive approaches toward water treatment works sludge management: an international review of beneficial reuses.** *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v.37, n.2, p.129-164, 2007. <http://dx.doi.org/10.1080/10643380600776239>

BARBOSA, A. B. D. **A experiência da CAESB em recuperação de água de lavagem de filtros e desidratação de lodo de ETA.** In: 19º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Foz do Iguaçu, 1997. Anais eletrônicos II-070. Rio de Janeiro, ABES.

BRASIL, Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. In: **Presidência da República Brasileira**, Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> Acesso 05 Abr. 2018.

BRASIL, Lei nº 11.445, de 5 de Janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. In: **Presidência da República Brasileira**, Brasília, 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm> Acesso 05 Abr. 2018.

BRASIL, Lei 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. In: **Presidência da República Brasileira**, Brasília, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm> Acesso 05 Abr. 2018.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> Acesso 05 Abr. 2018.

CORDEIRO, J. S. **Processamento de Lodos de Estação de Tratamento de Água (ETA)**. In: ANDREOLI, C.V. (coord.) Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final. Rio de Janeiro: RiMa / ABES / PROSAB, 2001. p. 121 – 142.

CORNWELL, D. A. **Handbook of practice water treatment plant waste management**. American Water Works Association Research Foundation. 1. Ed. Denver, 1987. 431p.

CORNWELL, D. A.; MUTTER, R. N.; VANDERMEYDEN, C. **Commercial Application and Marketing of Water Plant Residuals**. Denver: American Water Works Association, 2000.

DHARMAPPA, H. B.; HASIA, A. E.; HAGARE, P. (1997). **“Water Treatment Plant Residuals Management”**. Water Science and Technology, Vol 35, Nº 8, p. 45-56.

FILHO, S. S. F.; WAELKENS, B. E. **Minimização da produção de lodo no tratamento de águas de abastecimento mediante uso do cloreto de polialumínio e sua disposição em estações de tratamento de esgoto**. São Paulo. V.14, n.3, p.317-326,jul.-set. 2009. Artigo Técnico.

GREEN, C. D.; LIN, S. D. **Wastes from Water Treatment Plants: Literature Review, Results of an Illinois Survey and Effects of Alum Sludge Application to Cropland**. Peoria, 1987.

KAWAMURA, S. **Integrated Design of Water Treatment Facilities**. John Wiley & Sons, Inc, New York, 1991.

KAWAMURA, S. **Integrated Design of Water Treatment Facilities**. John Wiley & Sons, Inc, New York, 2000.

LERSCH, E. C.; BARRADAS J. L.; TOMATIS P. P. **Relatório Final da Comissão de Lodos - DMAE**, nov. 1992.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Plano Nacional De Recursos Hídricos: Prioridades 2012-2015**. Brasília, 2011.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO. **ETA ÁGUA DE LARANJAL – SÃO GONÇALO (RJ)**. Galeria flickr, junho. 2012. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/pacgov/7797218862>> Acesso 05 Abr. 2018.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (MPMG). (2009) **Parecer Técnico - Ref.: Ofício 1139/2008 (CAO-MA)** - Informações técnicas referentes aos danos ambientais decorrentes do lançamento de lodo in natura, pelas Estações de Tratamento de Água, no ambiente. Belo Horizonte: Procuradoria-Geral de Justiça, 32 p

MURRAY, K.; DILLON, G. **The managment of water and wastewater solids for the 21st. Century**, Washington D. C., USA, 1994.

OTTONI, A. B. **Importância da preservação dos mananciais de água para a saúde e sobrevivência do ser humano**. In: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental; AIDIS. Desafios para o saneamento ambiental no terceiro milênio. Rio de Janeiro, ABES, 1999. p.1-9.

PARANÁ, Resolução N° 021, de 22 de Abril de 2009. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. In: **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, 2009. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao_ambiental/Legislacao_estadual/RESOLUCOES/RESOLUCAO_SEMA_21_2009_LICENCIAMENTO_PADROES_AMBIENTAIS_SANEAMENTO.pdf> Acesso 05 Abr. 2018.

PEREIRA, S. L. M. **Características físicas, químicas e microbiológicas do lodo das lagoas da ETA Gramame**. 2011. 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

REALI, M. A. P. (coordenador). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Projeto PROSAB

REIS, E. L. T. dos. et al. **Avaliação Do Impacto Ambiental De Estações De Tratamento De Águas Em Cursos D'água**. In: ENVIRONMENTAL AND HEALTH WORLD CONGRESS. Santos, 2006. p. 210 – 214.

RIBEIRO, F. L. M. **Quantificação e caracterização química dos resíduos da ETA de Itabirito – MG**. 2007. 115 f. Dissertação (Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Mestrado em Engenharia Ambiental) – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas da UFOP. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

RIBEIRO, H. K. S. S. **Avaliação de desempenho ambiental em estações de tratamento de água**. 2003. 158 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade De Tecnologia. Universidade de Brasília (UnB), Brasília, 2003.

RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo, 2001.

SCALIZE, P. S. **Disposição de resíduos gerados em estações de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto**. 2003. 146 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SIMPSON, A.; BURGESS, P.; COLEMAN, S. J. **The Management of Potable Water Treatment Sludge: Present Situation in the UK**. In: Management of Wastes from Drinking Water Treatment. Proceedings. London: The Chartered Institution of Water and Environmental Management, 2002.

TSUTIYA, M. T.; HIRATA, A. Y. **Aproveitamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água do Estado de São Paulo**. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais, João Pessoa, PB, Brasil, 2001.

UNITES STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Drinking Water Treatment Plant Residuals Management Technical Report: Summary of Residuals Generation, Treatment, and Disposal at Large Community Water Systems**. USA, 2011.

URBAN, R. C. **Metodologias para gerenciamento de lodo de ETA e ETE**. 2016. 204 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil, na área de Saneamento e Ambiente) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

VILELLA, A. L. A. **Diagnóstico dos resíduos gerados em estações de tratamento de água nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá – SP**. 2011. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

WAGNER, L. F. **Disposição de resíduos das estações de tratamento de água.**
Revista Technoeng, Ponta Grossa, v. 1, n. 09, jul-dez. 2014. ISSN 2358-2669.