

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E
SUSTENTABILIDADE**

**GERENCIAMENTO DO LODO DE ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA EM MATO GROSSO DO SUL:
UMA ANÁLISE CRÍTICA**

ISADORA YULE QUEIROZ DE OLIVEIRA

Trabalho de Conclusão Final de Curso do Mestrado Profissional apresentado à Banca Examinadora da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração de Sustentabilidade.

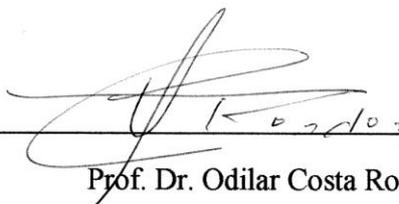
Orientador: Prof. Dr. Odilar Costa Rondon

CAMPO GRANDE – MS

SETEMBRO/2016

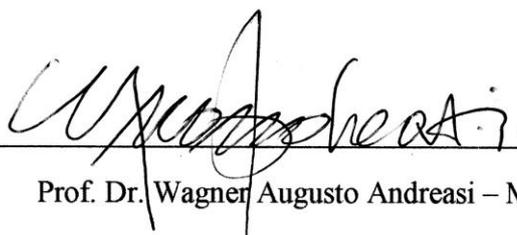
FOLHA DE APROVAÇÃO

Redação final do Trabalho de Conclusão Final de Curso defendida por **Isadora Yule Queiroz de Oliveira**, aprovada pela Comissão Julgadora em 05 de setembro de 2016, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.



Prof. Dr. Odilar Costa Rondon – Orientador

FAENG/UFMS



Prof. Dr. Wagner Augusto Andreasi – Membro Titular

CCET/UFMS



Prof. Dr. Keila Roberta Ferreira de Oliveira Dassin – Membro Titular

FAENG/UFMS

RESUMO

OLIVEIRA, I. Y. Q. (2016). Gerenciamento do lodo de estação de tratamento de água em Mato Grosso do Sul: Uma análise crítica. Campo Grande, 2016. 67 p. Trabalho de Conclusão Final de Curso (Mestrado Profissional) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

O lodo de estação de tratamento de água (ETA) consiste no aglomerado de substâncias retiradas da água durante o processo de tratamento. Este trabalho tem como objetivo avaliar a gestão deste resíduo, a partir de dados e informações levantadas sobre o sistema operacional de ETAs avaliadas em Mato Grosso do Sul para analisar o volume e o gerenciamento (transformação/reaproveitamento e/ou disposição final) do lodo de ETA. Os dados obtidos assinalam a ausência parcial de tratamento do resíduo e o volume é estimado por equações. A falta de dados quantitativos e qualitativos sobre o resíduo prejudica a tomada de decisões quanto ao reaproveitamento e disposição do mesmo. Nenhuma das três ETAs é compatível com a Lei 12.305/2010 (Política Nacional dos Resíduos Sólidos) onde deve ser priorizada a redução, reuso e reciclagem. Sendo o lodo um resíduo – e não um rejeito - ele deveria ter tratamento ecologicamente adequado optando a redução, reuso e reciclagem. A eventual ausência de gerenciamento de resíduo pode incidir diretamente nos problemas de contaminação dos cursos hídricos. As três ETAs não podem ser consideradas eco-eficientes na gestão lodo em razão de seus resultados quantitativos, qualitativos e escassez de dados.

Palavras-chave: produção de lodo; quantificação de lodo; gerenciamento.

ABSTRACT

The water treatment's sludge (WTS) is the cluster of substances removed during the water treatment process. The aim of this study is to evaluate the sludge management generated during the water treatment process. Data collected from water treatment's plants from Mato Grosso do Sul to analyze the sludge's volume and management (processing/recycling and/or disposal). The data indicate the partial absence of treatment of the waste and the volume is estimated by equations. The lack of quantitative and qualitative data on the residue impairs decision-making regarding the reuse and disposal. None of the water treatments plants are compatible with Law 12.305/2010 (National Policy of Solid Waste) which should be prioritized the reduction, reuse and recycling. The sludge is a residue - not a waste, according to the Law 12.305/2010 – and it should have ecologically appropriate treatment choosing the reduction, reuse and recycling. The possible absence of waste management can directly influence in the contamination problems of water resources. The water treatment system cannot be considered eco-efficient in sludge management in view of their quantitative and qualitative results and lack of data.

Keywords: sludge production; sludge quantification; management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Fluxograma de processo de tratamento de manancial subterrâneo e superficial.....	17
Figura 2 -	Gráfico de municípios com abastecimentos de água entre 1989 a 2008.....	18
Figura 3 -	Mapa de abastecimento de água por rede de distribuição.....	18
Figura 4 -	Fluxograma de uma ETA de sistema de ciclo completo.....	22
Figura 5 -	Meios de redução de volume de lodo.....	29
Figura 6 -	Gráfico de destinação de lodos dos municípios brasileiros em percentual...	31
Figura 7 -	Disposição de lodos de ETAs nos EUA.....	32
Figura 8 -	Rede de interação dos impactos ambientais gerados pelo lançamento <i>in natura</i> do lodo de ETA.....	35
Figura 9 -	Hierarquia no gerenciamento dos resíduos.....	35
Figura 10 -	Fluxograma adaptado de gerenciamento de resíduos sólidos não perigosos	39
Figura 11 -	Esquema dos setores que abrangem uma ETA.....	39
Figura 12 -	Visão que um gerente de uma ETA deveria ter.....	40
Figura 13 -	Fluxograma das etapas desenvolvidas neste trabalho.....	45

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1	–	Produção de resíduos de acordo com o tipo de manancial.....	15
Tabela 2	–	Características típicas de lodo de ETA.....	25
Tabela 3	–	Aparência do lodo de sulfato de alumínio.....	25
Tabela 4	–	Micro e macro propriedades dos resíduos de ETAs.....	26
Tabela 5	–	Exemplo de composição química dos lodos de ETAs já caracterizados....	26
Tabela 6	–	Exemplo de composição química dos lodos de ETAs caracterizados nos últimos anos.....	27
Tabela 7	–	Municípios que destinam o lodo gerado no tratamento de água em rios....	31
Tabela 8	–	Principais destinações do lodo por países.....	33
Tabela 9	–	Características químicas e valores máximos permissíveis dos componentes inorgânicos do lodo de ETA.....	34
Tabela 10	–	Dados levantados no questionário.....	44
Tabela 11	–	Dados gerais das três ETAs analisadas.....	45
Quadro 1	–	Controle e gestão dos mananciais que abastecem as ETAs.....	46
Quadro 2	–	Controle de perdas de água nas ETAs e volume anual de lodo gerado nos decantadores.....	47
Quadro 3	–	Dados de eficiência do controle de quantidade de lodo.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
AFEE	Association Française pour l'Étude des Eaux
AGESPISA	Águas e Esgoto do Piauí
AWWA	American Water Works Association
AWWARF	American Water Works Association Research Foundation
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CASAL	Companhia de Saneamento de Alagoas
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CODEN	Companhia de Desenvolvimento
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPASA	Companhia de Saneamento do Pará
DESO	Companhia de Saneamento de Sergipe
DMAE	Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia
IQA	Índice de Qualidade de Água
ISO	<i>International Standards Organization</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PEAASAR	Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SANEPAR	Companhia Paranaense de Saneamento
SANESUL	Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SEMADUR	Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
WRC	<i>Water Research Comission</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
2.	OBJETIVO.....	14
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1.	Mananciais.....	15
3.1.1.	Qualidade das águas superficiais de Campo Grande.....	16
3.2.	Sistema de abastecimento de água.....	17
3.2.1	Entidades prestadoras de serviço de saneamento.....	18
3.2.2.	Conceito e caracterização da água.....	19
3.2.3.	Processo de tratamento de água.....	20
3.3.	Geração do lodo.....	23
3.3.1.	Composição química do lodo de ETA.....	24
3.3.1.1.	Micro e macro propriedades do lodo de ETA.....	25
3.4.	Perdas de água em uma ETA.....	27
3.5.	Tratamento do lodo de ETA.....	28
3.6.	Volume de lodo no Brasil atualmente.....	29
3.6.1.	Fórmulas para quantificação do lodo.....	30
3.6.2.	Destinação do lodo de ETA no Brasil e no mundo.....	30
3.7.	Potencial tóxico, contaminantes e impactos ambientais.....	33
3.8.	Alternativas de redução de volume de lodo e de destinação correta do lodo.....	35
3.9.	Aspectos legais vigentes.....	40
4.	METODOLOGIA.....	41
4.1.	Contextualização.....	41
4.2.	Definição do local de estudo.....	42
4.3	Principais características das ETAs analisadas.....	42
4.3.1.	ETA A.....	42
4.3.2.	ETA B.....	43
4.3.3.	ETA C.....	43
4.4.	Questionário.....	44
4.5.	Análise de dados.....	45
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
5.1.	Análise e discussão dos resultados.....	45

5.1.1.	Projeto e implantação.....	45
5.1.2.	Mananciais.....	46
5.1.3.	Limpeza do sistema de tratamento e resíduo gerado no decantador.....	47
5.2.	Análise crítica dos resultados.....	49
6.	PROPOSTAS.....	49
7.	CONCLUSÕES.....	51
8.	SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	53
9.	REFERÊNCIAS.....	54
	APÊNDICE A.....	62
	ANEXO A.....	65

1 INTRODUÇÃO

A água está inserida como fator central relacionado ao desenvolvimento social, econômico e ambiental entre todos os países. Segundo o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento de Recursos Hídricos – Água para um mundo sustentável 2015, divulgado em março de 2015, o consumo de água cresceu duas vezes mais que a população e a estimativa é que a demanda aumente 55% até 2050, além de prever que a população mundial chegará a 9,6 bilhões no mesmo ano.

O Relatório Mundial da ONU-2015 estabelece que a crescente busca por água potável implica no acréscimo de quantidade de resíduos nas Estações de Tratamento de Água (ETAs). Por consequência, é preciso empregar tecnologias que permitam a reciclagem e a exploração desses resíduos. Em razão de o Brasil possuir 204 milhões de habitantes (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2010) há alto consumo de água potável e, por conseguinte, de construções de ETAs.

É preciso compreender as concessionárias de tratamento e distribuição de água como indústrias, cujo papel é converter água bruta em água potável utilizando insumos químicos e processos conforme a legislação e correlacionar ao fato que todo processo industrial gera resíduos. O despejo da água de descarga dos decantadores e de lavagem de filtros, que contém grande quantidade de sólidos e compostos químicos, nos cursos d'água representa o maior problema de poluição em uma ETA.

Assis (2014) conclui que o lançamento *in natura* – sem tratamento prévio - do lodo nos corpos hídricos eleva a concentração de sólidos totais na água, a ETA estudada acrescenta 37 toneladas de sólidos totais a cada 60 dias no córrego analisado. Achon *et al.* (2005) em seus estudos constataram que o lodo descartado *in natura* na ETA de São Carlos – SP possuía alta concentração de alumínio e ferro e comprometeu a camada bentônica - organismos que vivem no substrato do ambiente aquático - do córrego em que foi despejado além aumentar a turbidez e a demanda química de oxigênio.

O gerenciamento ambiental de uma ETA é importante para garantir a qualidade do produto final e diminuir a geração de resíduos. Segundo Dijkema *et al.* (2000) *apud* Porras (2007), o conceito de resíduo vem se reinterpretando como uma “matéria-prima de um novo processo, ou seja, um produto é considerado resíduo quando não tenha sido usado em todo seu potencial”.

No Brasil, o tratamento da água é feito através do processo de ciclo completo tendo as fases de: coagulação, floculação, decantação, filtração e cloração. A consequência deste processo é a geração de subproduto, o resíduo sólido conhecido como o lodo: uma torta densa e viscosa, que é um problema ambiental caso não seja destinado corretamente. Tomando por base que a geração de resíduo de ETA é de 1 a 5% sobre a produção de água por dia (Programa de Pesquisas em Saneamento Básico - PROSAB, 2001), são fundamentais os estudos sobre avaliação de aproveitamento do lodo e suas potencialidades.

O lodo consiste no aglomerado de substâncias retiradas da água durante o processo de tratamento. Possui características em função do tipo de coagulante utilizado no processo de tratamento da água bruta que apresenta variação de suas características e, conseqüentemente, requer diferentes dosagens de coagulantes. Quanto mais deteriorada for a água bruta, maior quantidade de produtos adicionados no tratamento.

O Brasil produz 4 milhões de toneladas por ano de lodo de ETA (SILVA, 2011). O Estado de São Paulo, conforme os dados de Cosin *et al.*(2004), gera 30 mil ton./ano. A cada mês no Paraná, são produzidos 4 mil toneladas de matéria seca de lodo. Conforme Hoppen *et al.* (2005) uma ETA de tecnologia de ciclo completo com capacidade de tratamento de 2400l/s consegue produzir 1,8t/dia de lodo. O grande volume de lodo gerado necessita de um gerenciamento e disposição final adequada ambientalmente.

De acordo com Achon (2008), Andrade (2005), Katayama (2014) e Ribeiro (2003) a grande maioria das ETAs brasileiras ainda lança o lodo nos corpos d'água sem tratamento. Por consequência, gera-se um ciclo vicioso e contraditório onde: os rios são os provedores de água para as estações de tratamento e também, são receptores dos resíduos gerados pela própria ETA. O investimento em estudos sobre tratamento e reaproveitamento do lodo é necessário para que tal prática de disposição seja evitada. A incorporação do resíduo na composição da cerâmica vermelha, no cimento e aplicação no solo são algumas opções de aproveitamento do lodo (HEIKAL *et al.*, 2014). Desta forma, os resíduos serão gerenciados de modo apropriado, sem conferir danos ambientais. O Instituto de Engenharia de São Paulo no Seminário Nacional sobre Tratamento, Disposição e Usos Benéficos de Lodos de ETAs, realizado em 2008, constatou:

Ainda hoje a maioria das ETAs lança diretamente seus lodos nos corpos d'água mais próximos; o setor de saneamento ambiental precisa ter uma visão mais abrangente do sistema de tratamento de água. Atualmente ela é horizontal (...); há tendência internacional em se reduzir a quantidade de lodo produzido nas ETAs; o restante deve ser reciclado ou reusado e somente o que não puder ser aproveitado deve ser disposto (IE/SP, Instituto de Engenharia de São Paulo. 2008).

As concessionárias de distribuição de água precisam cumprir disposições legais, tais como: as Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (BRASIL, 2005), segundo a Norma NBR 10.004/2004 (Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT, 2004) o lodo de ETA se enquadra como Resíduo Sólido Classe IIA – Não Inerte, Lei nº 9.605 (BRASIL, 1998) e os padrões de potabilidade da Portaria nº 2.914/2011 (BRASIL, 2011), várias leis estaduais e à Norma NBR ISO 14001/2004 (Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT, 2004) que especifica os requisitos de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA).

Quantificar o volume de lodo gerado é fundamental para acompanhar a rotina da produção e do tratamento do resíduo sendo que a maioria das estações de tratamento ignora a quantidade de lodo gerado. Portanto, as ETAs precisam ser vistas como uma indústria geradora de resíduo e são responsáveis pelo tratamento e disposição final do mesmo.

Mediante do exposto este trabalho irá verificar se as ETAs gerenciam a produção de lodo gerado. As ETAs foram selecionadas em razão de possuírem diferentes portes, administração e população abastecida em cada município em que estão situadas. Considerando os impactos ambientais provocados pelo gerenciamento incorreto do lodo de ETA, pelo grande volume gerado e com o intuito de analisar a atual situação lodo de três ETAs de Mato Grosso do Sul, o presente trabalho abordou a gestão e volume deste resíduo nestas estações de tratamento de água através de levantamento de dados, diagnóstico e análise crítica com base nas disposições legais de gerenciamento de resíduos, a fim de subsidiar futuras ações - ou melhorias - a partir das dificuldades e oportunidades encontradas e a busca por soluções para os desafios encontrados na área de estudo.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar a situação do gerenciamento e volume do lodo de estação de tratamento de água em Mato Grosso do Sul.

Objetivos Específicos:

- a. Realizar levantamento das informações de volume de lodo de ETA.
- b. Avaliar se as ETAs seguem as diretrizes da Lei 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos) quanto à gestão do lodo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Mananciais

Os mananciais são as fontes de abastecimento das ETAs. Logo, deve ser preservado e seguir as leis de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica pertencente. Se ocorrer a diminuição da qualidade do manancial, a estação de tratamento deverá aumentar a dosagem de produtos químicos e, conseqüentemente, aumentar a quantidade de resíduos produzidos e haverá maior perda de água para a lavagem dos decantadores (ACHON *et al.*, 2011).

A importância de se proteger os mananciais está relacionada, também, nos dados de água disponível. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2015), em nosso planeta há apenas 2,5% de água doce disponível (cerca de 35 milhões de km³). Sendo que desses 35 milhões, aproximadamente 70% está sob forma de gelo, quase 30% sob o solo e 0,3% em rios e lagos. Dos 2,5% de água doce disponível no mundo, o Brasil possui 12% dessa reserva, sendo 70% localizada na região Amazônica, segundo a Agência Nacional de Águas - ANA (2015).

A fim de criar parâmetros de preservação ambiental dos mananciais, 60% dos municípios brasileiros possuem leis municipais para proteção e recuperação das condições ambientais dos mananciais.

Andreoli e Leite (2005) analisaram 38 ETAs do Paraná e constataram que: 100% dos entrevistados declararam que é primordial a “conservação dos mananciais”. Contudo, somente 11 sistemas, dos 38, implantaram algum projeto de conservação dos mananciais. Os autores concluíram que as empresas reconhecem a importância de se investir em programas de conservação, porém, muitas vezes, não possuem estrutura ou suporte financeiro da administração da empresa ou de políticas públicas de incentivo.

Achon e Cordeiro (2005) afirma que a relação de produção de resíduo de uma ETA é proporcional à qualidade da água bruta a ser tratada. Na tabela 1 são mostrados alguns valores encontrados por Reali (1999).

Tabela 1 - Produção de resíduos de acordo com o tipo de manancial:

Tipos de Manancial	Faixa de Produção de Resíduos (g de sólidos secos por m³ de água tratada)
Água de reservatório com boa qualidade	12 – 18
Água de reservatório com média qualidade	18 – 30
Água de rios com qualidade média	24 – 36
Água de reservatório com qualidade ruim	30 – 42
Água de rios com qualidade ruim	42 - 54

Fonte: Reali *et al.* (1999).

3.1.1. Qualidade das águas superficiais de Campo Grande

Em Campo Grande implantou-se o programa ‘Córrego Limpo, Cidade Viva’ cujo objetivo é de fiscalizar e conscientizar a população sobre a importância da preservação dos cursos d’água da cidade. Os rios e córregos foram divididos em microbacias, monitorados e foram criados relatórios anuais a partir dos resultados (Campo Grande, Secretaria Municipal do Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano – SEMADUR. Qualidade das águas superficiais de Campo Grande, 2011, 2012 e 2013). Foram escolhidos pontos de amostragem, levando-se em conta locais onde há lançamento de efluentes (clandestino e/ou autorizado), encontro de dois córregos e nascentes, e foram coletadas amostras trimestralmente. Os resultados foram transformados em um índice numérico (IQACETESB) e, cada valor, indica a qualidade da água: ótima, boa, regular, ruim ou péssima. Assim, pode-se ter conhecimento da evolução da qualidade da água no município e identificar os trechos mais poluídos e suas fontes poluidoras.

O relatório com os resultados de 2011 mostrou que na microbacia do Lageado, uma das mais importantes de Campo Grande, pois é o segundo maior sistema de abastecimento de água, foram analisados 09 pontos de amostragem. Esta microbacia está classificada na classe 02 da Resolução CONAMA (águas destinadas ao abastecimento público após tratamento, proteção de comunidades aquáticas, recreação, irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e à criação de espécies destinadas à alimentação humana) e os parâmetros que ultrapassaram os valores permitidos foram:

- 19% das análises ultrapassaram os parâmetros de demanda bioquímica de oxigênio, fósforo, oxigênio dissolvido e coliformes termotolerantes;
- 56% das análises de coliformes termotolerantes não estão adequadas aos parâmetros do CONAMA. Tais pontos de amostragem estão em áreas desmatadas, degradadas, com lançamento de esgoto clandestino e lixo no curso d’água e há criação de animais nas margens.

Apesar da classificação da microbacia do Lageado ter sido considerada ‘BOA’ pelos parâmetros (apenas com um trecho de amostragem ter sido considerado ‘REGULAR’), foi observado que de 2009 e 2010 para 2011 a tendência foi pior devido ao despejo de esgoto doméstico, fertilizantes e excrementos de animais. As amostras de água constataram que nos meses de seca a qualidade da água tende a diminuir e que as microbacias com os melhores IQA foram a Lageado e Balsamo.

O relatório dos resultados de 2012 observou que o Rio Anhanduí, principal curso d'água da cidade, já possui sua nascente poluída devido ao lançamento de esgoto clandestino e ser o receptor do lançamento da maior ETE da cidade. Em 2012, na microbacia do Lageado, os parâmetros fora do padrão foram: fósforo e oxigênio dissolvido. O manancial de captação de água possui duas ETESs ao longo de seu curso.

O relatório de 2013 mostrou, no córrego Lageado, que os parâmetros fora do limite foram a demanda biológica de oxigênio e fósforo total. O relatório concluiu que houve melhoria na qualidade da água nos trechos onde as ETEs foram desativadas e nas regiões onde houve fiscalização para verificar a presença de rede pública coletora de esgoto.

Os relatórios da qualidade de água podem determinar a importância de monitorar constantemente as águas e fiscalizar o lançamento de efluentes, ajudando, assim, a assegurar a qualidade da água bruta e seu potencial de abastecimento público.

3.2. Sistema de Abastecimento de Água

O abastecimento de água pode ser feito a partir de mananciais subterrâneos e superficiais. Nos subterrâneos os processos de tratamento são mais simples e nos superficiais o tratamento precisa ser feito em uma ETA.

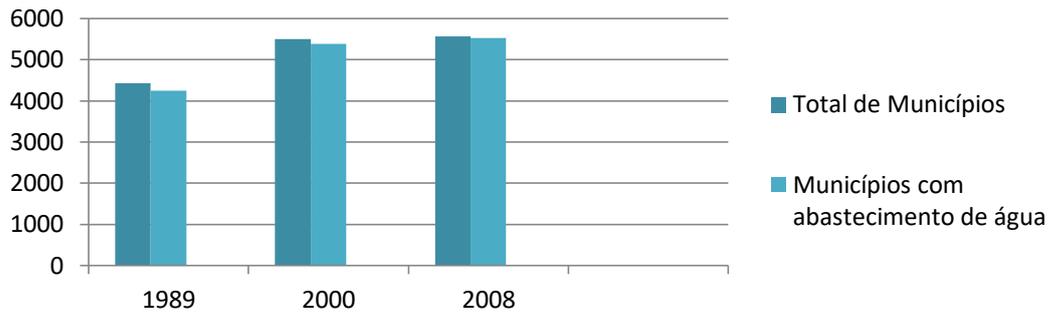
Figura 1 - Fluxograma de processo de tratamento de manancial subterrâneo e superficial.



Fonte: Parsekian (1998).

O número de municípios brasileiros que dispõem de abastecimento de água aumentou consideravelmente (cerca de 3,5%) de 1989 a 2008, segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento feita pelo IBGE em 2008. O volume de lodo gerado pelas estações de tratamento de água é proporcional ao aumento da demanda por água tratada. Em 1989 havia 4.425 municípios brasileiros, destes, 4.245 possuíam sistema de abastecimento de água (95,9%). Em 2000 havia 5.507 municípios, sendo que 5.391 possuíam sistema de distribuição de água (97,9%). Em 2008 havia 5.564 municípios, destes, 5.531 possuíam água tratada (99,4%) (figura 2).

Figura 2 - Gráfico de municípios com abastecimento de água entre 1989 a 2008.

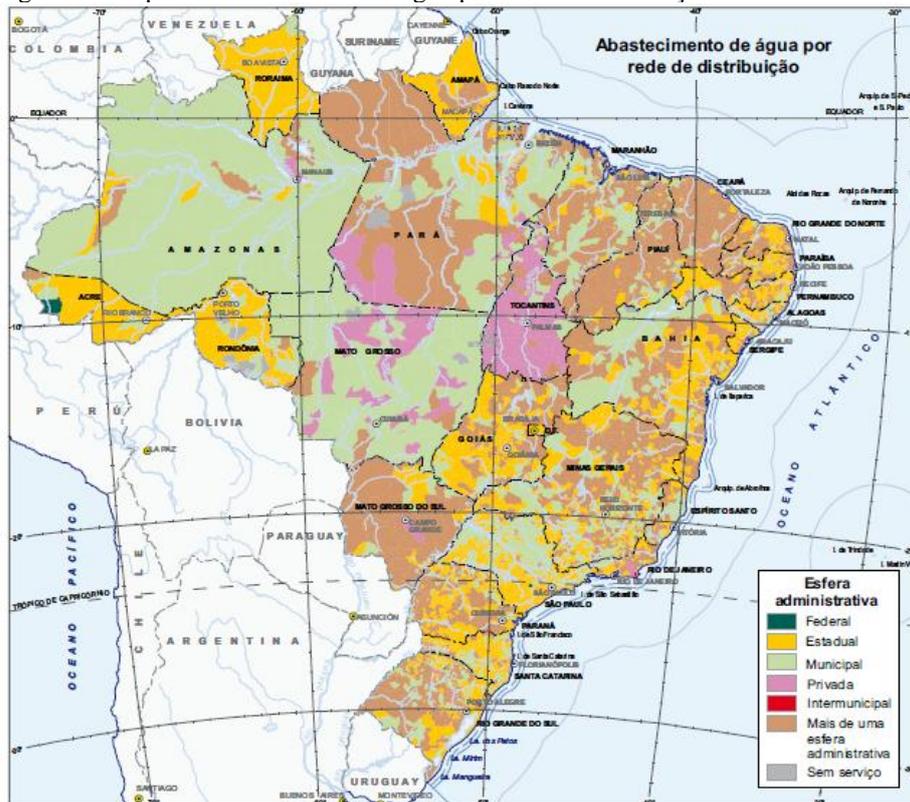


Fonte: IBGE (2010).

3.2.1. Entidades prestadoras de serviço de saneamento

O sistema de abastecimento e tratamento de água pode ser feito através do sistema de abastecimento público ou privado, as chamadas concessionárias. O sistema de tratamento e abastecimento de água é um serviço que gera valor já que ele produz algo que é consumido por todos os habitantes, independente de classe social. Conforme o mapa desenvolvido do Atlas de Saneamento em 2011 (figura 3), a maior parte do sistema de saneamento é gerida pela própria prefeitura, seguido pela administração por mais de uma esfera (o caso de quase todo Estado de Mato Grosso do Sul) e pela administração estadual.

Figura 3 - Mapa de abastecimento de água por rede de distribuição.



Fonte: IBGE (2011).

No serviço de tratamento público, em sua maioria, ocorre o conhecido “modo corretivo”, segundo Parsekian (1998). Isso significa que os serviços são realizados após algum problema acontecer. O planejamento dos serviços não é realizado, é feito, na maioria das vezes, ações emergenciais para amenizar a situação. O maior desafio é dar continuidade aos programas e prioridades programadas a cada troca de chefia, normalmente a cada troca de prefeito.

As empresas privadas – concessionárias de abastecimento de água – trabalham com um diferencial das públicas: o lucro. A partir da meta de se aumentar o lucro, sem desobedecer ao contrato, os gerentes buscam programas para administrar a empresa, diminuindo desperdícios (PARSEKIAN, 1998).

Contatou-se nos sítios eletrônicos das agências e concessionárias brasileiras de tratamento e abastecimento de água que apenas uma agência possui dados sobre o volume e destino do lodo gerado. A maioria das agências (por exemplo: CAESB – DF, Águas de Niterói – RJ, Águas Guariroba - Campo Grande/MS, CASAN – SC, SABESP – SP, COMPESA – PE, DESO - SE e DMAE – RS) possui dados e relatórios de qualidade da água (mensal e anual) e informações operacionais (número de ETAs, vazão, etc.), porém nenhuma informação sobre a quantidade e/ou destinação dos resíduos gerados. Os dados disponíveis, em sua maioria, são: cor aparente, turbidez, pH, cloro residual e coliformes, sendo que várias agências não atualizam os dados, mantendo relatórios antigos (exemplo: a CASAL, agência do Alagoas, possui relatórios de qualidade somente até o ano de 2011). A COSANPA - PA só permite a visualização do relatório anual de qualidade da água mediante ao preenchimento do número de matrícula do seu imóvel. Alguns sites não possuem informações relevantes de sistema, qualidade e resíduo, como o da SANESUL (MS) e o da AGEPISA (PI). A única agência que, além de liberar dados operacionais, disponibiliza informações sobre a qualidade mensal da água por cidade e sobre o volume e disposição final do lodo gerado, é a SANEPAR (PR).

3.2.2. Conceito e caracterização da água

Conforme Capanema (2004), água pura não existe em razão de que “sendo água um ótimo solvente natural, nunca é encontrada em estado de absoluta pureza”. A água bruta consiste na água antes dos processos de tratamento e contém substâncias de origem orgânica e não orgânica. Na composição há substâncias calcárias e magnesianas (que tornam a água mais dura), ferruginosas (que dão cor e sabor) e substâncias provenientes de atividades industriais.

A água pode, também, conter elementos em suspensão que foram carreados, como silte, argila e/ou algas (IBGE, 2011).

Di Bernardo *et. al.* (2003) confirma que “qualquer água de qualquer qualidade, pode ser, transformada em água potável”. Contudo, através de análise de custos, estudo da operação e manutenção é que se pode ter certeza quanto à viabilidade do uso de tal manancial superficial como fonte de abastecimento. Os padrões de potabilidade são dispostos pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) e devem tornar-se cada vez mais rígidos em virtude dos avanços tecnológicos. Para atender tais padrões é essencial obter análise histórica do manancial de captação de água para que seja possível saber quais tratamentos deverão ser aplicados. Richter (2001) ressalta que apenas os processos fundamentais para a purificação da água deverão ser feitos.

Quando se avalia o sistema de abastecimento de água é importante analisar o seguinte aspecto: a maneira de distribuição da água e a qualidade da água analisada. Segundo o IBGE (2011), após a água ser captada é importante que, antes do início do tratamento, seja analisado os aspectos físico-químicos e microbiológicos (referentes à presença de substâncias orgânicas e inorgânicas, bactérias e indicadores de poluição por meio de sua demanda química de oxigênio). Essa análise é essencial principalmente para a água captada superficialmente em razão de ela estar propensa a várias formas de contaminação. Os dados do IBGE (2011) indicam que 63,2% dos municípios que distribuem água superficial fazem a análise físico-química da água captada. Sendo que 58% analisam diariamente ou semanalmente, 26% destes analisam de 15 em 15 dias ou mensalmente e 15% analisam semestralmente ou anualmente.

3.2.3. Processo de tratamento de água

O processo de tratamento de água é definido como uma série de operações destinadas a conciliar as características físico-químicas da água bruta com o padrão organoléptico satisfatório e sem riscos à saúde humana (DI BERNARDO *et. al.*, 2003).

O sistema de abastecimento de água é o “conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinados à produção e à distribuição de água potável para a população”. A responsabilidade deve ser do poder público (ainda que sob a administração de concessionárias), incluído a comunidade beneficiária (BRASIL, 2006).

Os sistemas de abastecimento de água devem obedecer a padrões de qualidade antes do tratamento da água, durante e depois (ACHON, 2008):

- Antes do tratamento: Comprometimento dos mananciais, infraestrutura para adução, bombeamento, etc;
- Durante: Consumo de produtos químicos, energia elétrica, perdas de água e geração de resíduos;
- Depois do tratamento: Qualidade do produto final (água tratada), análise do resíduo produzido e seu aproveitamento ou disposição final.

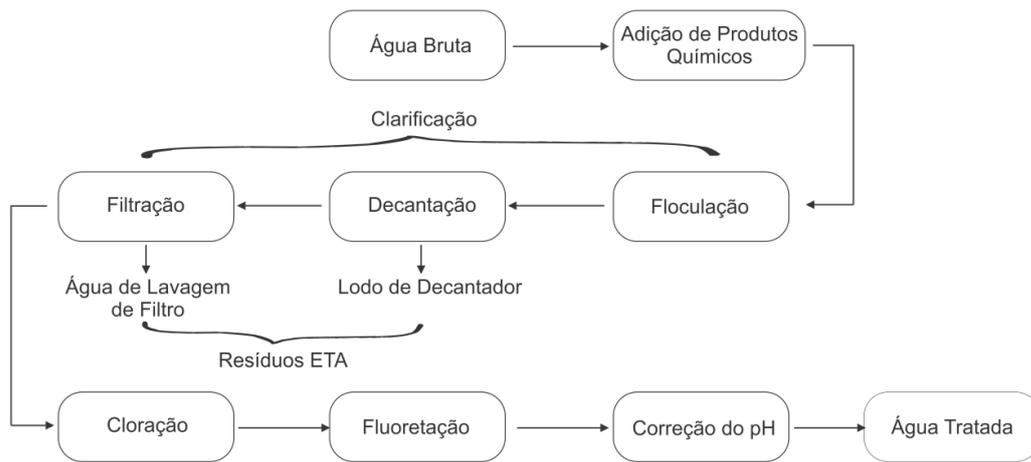
Segundo Barroso (2009), o sistema de abastecimento de água é formado pelas seguintes etapas: Manancial (onde retira a água)→ Captação (tirar a água do manancial)→ Adução (transporte da água) → Tratamento → Reservação → Rede de Distribuição.

O tratamento de ciclo completo é o mais comum no Brasil (PARSEKIAN, 1998) e compreende as etapas:

1. Coagulação: O coagulante (no caso de Campo Grande, o policloreto de alumínio). A duração do processo varia de décimos de segundo a 1 minuto, depende da quantidade de impurezas, temperatura, pH e alcalinidade (PARSEKIAN, 1998);
2. Floculação: As partículas de impurezas suspensas vão se aglomerando em flocos maiores para serem removidas pelo decantador, na etapa subsequente. O tempo da floculação e a gradiente de velocidade são referências essenciais para que a floculação seja bem sucedida;
3. Decantação: É a remoção das partículas em suspensão e micro-organismos que se depositam no fundo do tanque formando o lodo; é o responsável pela clarificação da água;
4. Filtração: Remove as partículas em suspensão que não foram removidas pelo decantador;
5. Cloração: Adição de cloro na água para remover quaisquer micro-organismos patogênicos que ainda possam existir. O cloro é um produto eficiente, de fácil manuseio e baixo custo.
6. Fluoretação: Colocação de flúor na água;
7. Correção do pH: É adicionada cal hidratada na água para corrigir a acidez.

Terminado as fases de tratamento, a água já é considerada potável e é bombeada por meio de uma tubulação adutora até o reservatório de distribuição de água.

Figura 4 - Fluxograma de uma ETA de sistema de ciclo completo.



Fonte: Adaptado de PÁDUA (2006).

Reali (1999) afirma que grande parte das cidades brasileiras apresenta poluição nos seus recursos hídricos, o que contribui para uma piora na qualidade da água de abastecimento público. Por esta razão, é necessário o uso de novas tecnologias e novos produtos químicos (ou em quantidades maiores) no tratamento da água. Conseqüentemente, há aumento nos custos operacionais e na quantidade de lodo residual. Ainda conforme o autor, a estimativa de descarte de lodo de ETA em rios em 1999 era de 2000 toneladas de sólidos lançados. O lodo representa de 0,3 a 1% do volume de água tratada.

Apesar das restrições existentes no Brasil quanto à disposição final do lodo, como a Resolução CONAMA nº 357 (2005), Norma NBR 10.004 (2004), Lei nº 9.605 (1998), as instituições que gerenciam estes sistemas têm encontrado dificuldades quanto ao gerenciamento desse resíduo, como os custos de manuseio e transporte e as restrições ambientais (Richter, 2001).

Segundo Sabogal-Paz & Di Bernardo (2005) é preciso levar em consideração alguns aspectos para escolher o melhor método de tratamento de lodo de ETA:

- Estudos preliminares para averiguar a quantidade de produtos químicos no tratamento da água, analisar a operação e manutenção das unidades de filtração e decantação, a vazão do sistema e análise do funcionamento hidráulico;
- Análise do lodo em laboratório para saber suas características qualitativas e quantitativas;
- Característica da água bruta e da tecnologia de tratamento de água;

- O método escolhido de aproveitamento e disposição do lodo deve considerar a distância da ETA até o destino final, as tecnologias disponíveis na região, os investimentos iniciais, a mão de obra disponível, as despesas de operação, área necessária para implantação e vazão da operação, manutenção e administração. Devem-se levar em consideração, também, os aspectos econômicos, culturais e legislativos da região.

3.3. Geração do lodo

O lodo oriundo do decantador fica acumulado até atingir uma espessura (a espessura se sujeita ao tempo de permanência no decantador) e é removido por meio de jatos de água e encaminhado para os coletores (Feitosa e Consoni, 2008). No entanto, caso a frequência de remoção do lodo for de intervalos muito espaçados, pode haver concentração alta de contaminante orgânico e inorgânico no resíduo acumulado e, além de jatos de água, será preciso o uso de raspadores manuais (rodos de madeira), resultando no contato direto de funcionários com o lodo (ACHON, 2008).

O lodo gerado através do tratamento de água de tecnologia de ciclo completo tem aparência gelatinosa e contém alta concentração de alumínio e/ou ferro com misturas de materiais orgânicos, inorgânicos e precipitados hidróxidos de metais dos coagulantes. A concentração de lodo decantado aumenta com o tempo de retenção, de acordo com Richter (2001). A maioria das estações de tratamento faz o descarte de forma manual, podendo variar de 1 a 4 meses e, após esse período é feita a lavagem e a disposição final do resíduo (REALI *et al.* 1998 *apud* PEIXOTO, 2008). O problema da demora em descartar o lodo em intervalos superiores a 20 dias é que esse resíduo pode conter concentração de sólido maior que 2,5% e, logo, provocar variação no corpo receptor se for disposto *in natura*.

Embora o lodo possua de 95% a 99,5% de água (RICHTER, 2001), ainda estão presentes os hidróxidos de metais resultantes dos produtos do coagulante utilizado. Portanto é necessário que sua disposição final seja adequada ambientalmente conforme as normas.

Cordeiro (2003) realizou uma pesquisa sobre o lodo gerado nos decantadores de ETAs a fim de analisar possível impacto ecológico causado pelo lançamento do lodo *in natura* em cursos d'água e estudar a caracterização do resíduo a fim de pesquisar a melhor maneira de manejo e disposição. Algumas conclusões de Cordeiro:

- i. Em várias ETAs estudadas, o manancial de captação de água servia para lançamento dos lodos, poluindo, assim, a água bruta;

- ii. A maioria das ETAs, tanto públicas quanto privadas, não possuem dados sobre as características físico-químicas dos lodos gerados nos decantadores;
- iii. Algumas dessas ETAs já sofreram problemas de poluição em razão do lançamento do lodo no meio ambiente;
- iv. O coagulante mais usual (em 2003) é o sulfato de alumínio;
- v. O lançamento do lodo no estudo de caso ultrapassou os parâmetros definidos pelo CONAMA, logo, pode ser declarado como poluente;
- vi. A remoção da água dos lodos utilizando sistema mecânico de desaguamento não atingiu a eficiência estimada. A remoção máxima foi de 30%, ou seja, a concentração de sólidos não é adequada para o manuseio;

3.3.1. Composição físico-química do lodo de ETA

As características do lodo dependem diretamente das características da água bruta que chega à ETA para ser tratada.

De acordo com Richter (2001) e Reali (1999) o lodo possui de 0,5 a 5% de sólidos (resíduos orgânicos e inorgânicos, como algas, bactérias, partículas orgânicas em suspensão, areias, argilas, siltes, cálcio, etc.). Conforme as pesquisas de Richter (2001) o teor de sólidos do lodo de ETA varia de 0,1 a 4%, sendo estes, 75 a 90% sólidos suspensos e 20 a 35% compostos voláteis. Além de estarem presentes os hidróxidos de metais resultantes dos produtos do coagulante utilizado. Portanto é necessário que sua disposição final seja adequada ambientalmente conforme as normas.

O coagulante utilizado estará presente na composição do lodo, sendo os principais: sulfato de alumínio (é o coagulante mais usual, 83% dos municípios estudados por Soares (2009) utiliza o mesmo), policloreto de alumínio, sulfato férrico, sulfato ferroso clorado e cloreto férrico. O sulfato de alumínio é bastante usual devido ao baixo custo, facilidade de manuseio e de transporte. É eficiente em relação à redução da cor, turbidez e demanda bioquímica de oxigênio. O cloreto férrico é eficiente em águas com alto índice de cor e mais ácidas (COUTO, 2011). A dosagem do coagulante é estabelecida, em laboratório, em razão da qualidade da água bruta. Ressalta-se a importância de coagulantes cuja qualidade atenda às especificações do serviço de água, caso ao contrário a dose de produto químico será maior e, logo, a quantidade de rejeitos também aumentará.

Segundo a *American Water Works Association* (AWWA, 1997), as propriedades físico-químicas deste resíduo submetem-se com o sistema de operação utilizado na ETA e as

características da água bruta. Em época de chuva, por exemplo, a cor da água e sua turbidez apresentam valores elevados, logo, utiliza-se maiores dosagens de coagulantes. E o oposto ocorre em períodos de seca.

Richter (2001) define que o lodo de ETA que utiliza coagulante de sulfato de alumínio apresenta pH próximo ao neutro, um volume grande e baixo teor de sólidos são consequências de sua baixa compressibilidade e o coagulante de sais de ferro possui características semelhantes – possui hidróxido férrico substituindo o hidróxido de alumínio - conforme a tabela 2.

Tabela 2 - Características típicas de lodo de ETA:

Parâmetros	Lodo de Sulfato de Alumínio	Lodo de Sais de Ferro
Sólidos Totais (%)	0,1 – 4,0	0,2 – 3,5
pH	6,0 – 8,0	7,4 – 9,5
Fe (%)	–	4,6 – 20,6
$AL_2O_3 \cdot 5,5H_2O$ (%)	15,0 – 40,0	–

Fonte: Adaptado de Richter, 2001.

Richter (2001) ainda define que a aparência do lodo de sulfato de alumínio vai depender da concentração de sólidos, como mostra a tabela abaixo:

Tabela 3 - Aparência do lodo de sulfato de alumínio:

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

Fonte: Richter, 2001

3.3.1.1. Micro e macro propriedades do lodo de ETA

Para caracterizar fisicamente o lodo, deve-se levar em consideração: a concentração de sólidos, a turbidez, cor, sedimentabilidade, viscosidade, a sua resistência específica, densidade, tamanho e distribuição das partículas. Os parâmetros de caracterização química dependem dos metais e elementos tóxicos (AWWA, 1997; CORDEIRO, 2003).

Dharmappa (1997) propõe a avaliação das micro e macro propriedades do lodo para tomarem-se decisões quanto ao aproveitamento do resíduo. Micro propriedades englobam as qualidades intrínsecas do lodo e as macro propriedades são relativas à trabalhabilidade do resíduo, conforme tabela 4.

Tabela 4 - Micro e macro propriedades dos resíduos de ETAs:

Micro propriedades	Macro propriedades
Distribuição e tamanho dos flocos	Velocidade de sedimentação
Estrutura/forma dos flocos	Flotabilidade
Tensão de cisalhamento do floco	Centrifugabilidade
Densidade	Velocidade de drenagem em lagoas
Concentração de sólidos	Resistência específica
Viscosidade e temperatura	Tempo de filtração
Tensão superficial	Velocidade de drenagem no solo
“Frações” de água	Tempo de sucção por capilaridade
Composição química*	Compressibilidade
Concentração de matéria orgânica*	Lixiviação
pH e alcalinidade*	Força cisalhante
Carga das partículas	

* Caracterização da avaliação do potencial poluidor de resíduos de ETAs

Fonte: Dharmappa (1997)

A importância da caracterização do lodo de ETA é a avaliação de seu impacto ambiental e a disposição final, pois as características físico-químicas irão interferir na escolha de qual opção de descarte será usado (CORDEIRO, 2003).

Na tabela 5 há as composições químicas já analisadas por alguns autores e na tabela 6 há as composições mais recentes e com elas pode-se observar que a composição química é bem variada evidenciando a diversidade entre as ETAs (TARTARI, 2008).

Tabela 5 – Exemplo de composição química dos lodos de ETAs já caracterizados:

Óxido dos Elementos Químicos	Oliveira <i>et. al.</i> (2004) (%)	Ferranti <i>et. al.</i> (2005) (%)	Andreoli <i>et. al.</i> (2003) (%)	Wolf <i>et al.</i> (2007) (%)	Hoppen <i>et. al.</i> (2005) (%)	Monteiro <i>et al.</i> (2007) (%)	Paixão (2005) (%)
SiO ₂	33,92	37,28	14,10	37,70	16,55	24,68	12,55
Al ₂ O ₃	31,71	25,63	23,62	30,50	13,07	30,39	8,57
Fe ₂ O ₃	12,79	9,97	8,39	12,40	4,15	11,59	72,90
TiO ₂	1,10	0,84	0,35	1,00	0,19	0,90	-
MnO	0,09	0,05	-	0,30	0,22	-	0,54
CaO	0,37	0,74	0,15	0,40	0,15	0,17	-
Na ₂ O	0,06	0,09	0,02	0,20	0,04	-	-
P ₂ O ₅	0,35	0,75	0,34	0,30	0,26	-	-
Perda ao fogo	16,93	25,15	49,01	17,10	49,79	30,67	15,00

Fonte: Tartari (2008).

Tabela 6 – Exemplo de composição química dos lodos de ETAs caracterizados nos últimos anos:

Óxido dos Elementos Químicos	Heikal <i>et. al.</i> (2014) (%)	Huang e Wang (2013) (%)	Kizinievic <i>et. al.</i> (2013) (%)	Rodriguez <i>et. al.</i> (2010) (%)	Yen <i>et. al.</i> (2011) (%)	Silva (2011) (%)	Couto (2011) (%)
SiO ₂	54,1	64,3	10,9	29,63	49,2	30,2	14,66
Al ₂ O ₃	28,84	21,2	1,34	17,57	26,3	39,1	32,26
Fe ₂ O ₃	9,92	10,40	68,65	5,18	6,6	25,8	11,8
TiO ₂	1,28	-	-	0,56	-	1,4	0,47
CaO	3,1	2,05	8,23	11,85	0,8	0,2	1,63
MgO	0,64	1,06	0,61	2,15	1,0	0,6	-
Na ₂ O	0,30	0,17	-	6,09	0,6	-	-
K ₂ O	0,75	0,79	-	2,85	3,2	1,4	0,5
P ₂ O ₅	-	-	9,39	0,94	-	0,3	2,53
Perda ao fogo	-	8,04	-	22,70	-	52	13,38

Fonte: Adaptado de Ahmad (2016), Silva (2011) e Couto (2011).

3.4. Perdas de água em uma ETA

A necessidade de limpar as unidades de tratamento e remover os resíduos dos decantadores e filtros é a responsável pelas perdas de água principais. Em uma ETA há perda de água que são denominadas de ‘perdas físicas operacionais’ e são distribuídas em três tipos:

- Volume de água gasto na descarga do lodo e limpeza dos decantadores;
- Volume de água gasto na lavagem de tanques de produtos químicos e no preparo das soluções;
- Volume de água gasto no processo de lavagem dos filtros: É o maior volume de água gasto no processo de tratamento (2 a 5% do volume de água produzido).

A partir do controle de perdas de água em uma ETA, garante-se que o volume de água gasto durante toda a operação e o volume de resíduo gerado seja reduzido. As perdas físicas de água provenientes de vazamentos e rachaduras são ligadas às falhas estruturais e aspectos construtivos da obra (Ferreira Filho e Além Sobrinho, 1998). A redução das perdas nas ETAs é um meio de diminuir os desperdícios no processo de tratamento de água e aumento da eficiência do processo.

A porcentagem de perdas de água mais representativa pode ser reduzida caso haja controle operacional da incorporação dos produtos químicos durante o processo de formação de flocos. Se a etapa de coagulação e decantação for mal realizada haverá mais compostos sólidos a serem carregados para os filtros, havendo necessidade de maior quantidade de

lavagens e aumentando de volume de água utilizado. Em vista disso, a melhor maneira de se reduzir as perdas de água em uma ETA é havendo um controle operacional eficiente. A implantação de um sistema de recuperação de água de lavagem dos filtros é uma alternativa para diminuir o desperdício e aumento da produção de água tratada.

De acordo com o trabalho de Ferreira Filho e Além Sobrinho (1998) há duas situações encontradas nas ETAs:

- A primeira é quando o sistema de tratamento de lodo e o de água é projetado em conjunto. A vantagem é a conciliação dos tratamentos de ambas as fases: líquida e sólida. A desvantagem é que em fase de projeto, não se sabe o volume e as propriedades do lodo gerado nas ETAs, logo, dificulta saber os parâmetros de projeto desses sistemas.
- A segunda situação é quando o sistema de tratamento de lodo é feito após a ETA ser construída, ou seja, já estará em funcionamento. A vantagem é que há a possibilidade de usar o lodo para ensaios pilotos a fim de saber seus parâmetros de projeto. A desvantagem é a restrição no panorama construtivo na adaptação do sistema de tratamento da fase líquida e da fase sólida.

3.5. Tratamento do lodo de ETA

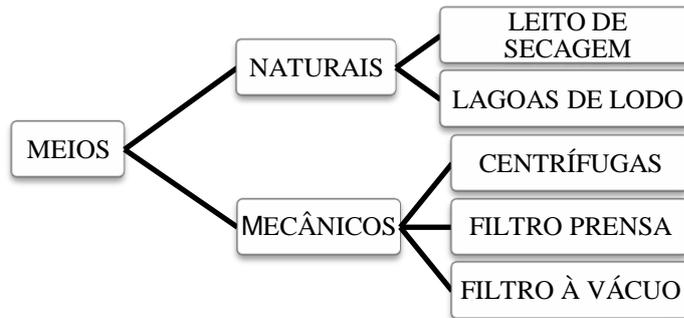
A fim de reduzir os impactos ambientais, o lodo de ETA precisa ser tratado previamente antes de ser reaproveitado ou encaminhado à sua disposição final. Para isso, há algumas técnicas químicas e mecânicas. As opções de técnica servem para resultar uma ‘torta’ de lodo com concentração máxima de sólidos, pois tal fator garante mais alternativas de aproveitamento e disposição (SABOGAL-PAZ, DI BERNARDO, 2005). A etapa de tratamento do resíduo não deve ser pensada de forma isolada, pois o tipo de tratamento usado vai influenciar o método de reaproveitamento e destinação final (ACHON, 2011).

O tratamento do lodo tem o objetivo de remover a água para concentrar os sólidos e, com isso, reduzir o volume de lodo. De acordo com Cordeiro (2003), diminuindo-se o volume de lodo de ETA com tratamento servirá para reduzir custos de transporte e disposição final e redução de degradação ambiental.

O adensamento (ou espessamento) é uma técnica para preparar o lodo para seu posterior condicionamento e desidratação. Segundo Reali (1999), essa fase é importante para separar a água do lodo com o objetivo de diminuir seu volume e para facilitar os equipamentos utilizados na etapa de desidratação final (cujo custo depende do volume do

lodo). Nessa fase busca-se atingir o teor de sólido em 2%. Após o adensamento, o lodo vai para a fase de desidratação que pode ser feita por processo natural, como o leito de secagem e as lagoas de lodo (a desidratação ocorre por evaporação natural ou drenagem) ou pode ser feito por desidratação mecânica através de prensa desaguadora, filtro prensa e de centrifugação (é um processo rápido e rotativo, separa o líquido do sólido usando forças centífugas) conforme a figura 5. Terminado a desidratação, o próximo passo é a disposição final do lodo (RIBEIRO, 2003).

Figura 5 - Meios de redução de volume do lodo.



Fonte: Adaptado de Ribeiro, 2003.

3.6. Volume de lodo no Brasil atualmente

O Brasil produz 4 milhões de toneladas por ano de lodo de ETA (SILVA, 2011). O Estado de São Paulo, conforme os dados de Cosin *et al.*(2004), gera 30 mil ton./ano. A cada mês no Paraná, é produzido 4 mil toneladas de matéria seca de lodo. Curitiba representa 50% de todo o Estado (HOPPEN *et al.*, 2005). Em Minas Gerais, reuniram-se informações de 175 cidades e observou-se que 87% das ETAS dessas cidades lançam o lodo em corpos d'água sem tratamento prévio, 6% não informaram, 3% possuem unidades de tratamento de resíduo, 2% lançam na rede pluvial, 1% em ETE e 1% no solo (MINAS GERAIS, 2009).

Conforme Hoppen *et al.* (2005) uma ETA de ciclo completo com capacidade de tratamento de 2400l/s consegue produzir 1,8t/dia de lodo. Ressalta-se que no Brasil a quantidade de lodo produzido não é comumente mensurada em razão de não haver gerenciamento dos resíduos.

O IBGE (2008) calcula que as concessionárias de água no Brasil produzem cerca de $41.10^6 \text{m}^3/\text{dia}$ de água tratada por ETAs convencionais e não convencionais. As ETAs convencionais produzem, aproximadamente, $30,5. 10^6 \text{m}^3/\text{dia}$ (93% da água tratada). Em consequência, 1 a 4% do volume de água corresponde à geração de lodo, ou seja, $613.037 \text{m}^3/\text{dia}$ de resíduo.

3.6.1. Fórmulas para quantificação de lodo

Silva *et al.* (2013) apresentaram dados de volume de lodo gerado em Ponta Grossa em 2012/2013 a partir de fórmulas e da quantidade real calculada pelos dados de vazão de descarga do decantador. Observou-se uma variação considerável entre os volumes estimado e real ao longo dos meses. Os autores compararam as equações existentes e concluíram que: as equações de Cornwell e Ritcher apresentaram o resultado estimado mais próximo da quantidade real. Contudo o resultado ainda não é adequado, pois a estimativa foi menor do que o volume real. Caso os resultados fossem essenciais para escolher a melhor alternativa de reaproveitamento e disposição do lodo, a escolha seria subdimensionada.

Para estimar a quantidade de resíduo sólido que uma ETA gera, é usada como critério a qualidade da água bruta em razão da relação de água com qualidade inferior precisar de maior dosagem de produtos químicos, logo, maior quantidade de lodo será gerado. De acordo com Saron e Leite (2001), utiliza-se o balanço de massa para calcular o volume de lodo gerado (ton./dia). Devem-se avaliar as fórmulas químicas dos coagulantes e a taxa de captura de sólidos na etapa de sedimentação.

Há várias fórmulas para o cálculo de volume de lodo gerado, como as da *Water Research Center - WRC (1979)*, *American Water Work Association – AWWA (1978)*, *Association Française Pour L'étude Des Eaux – AFEE (1982)*, CETESB, Ritcher (2001), Kawamura (1991) e Cornwell *et al.* (1987) (conforme o anexo A).

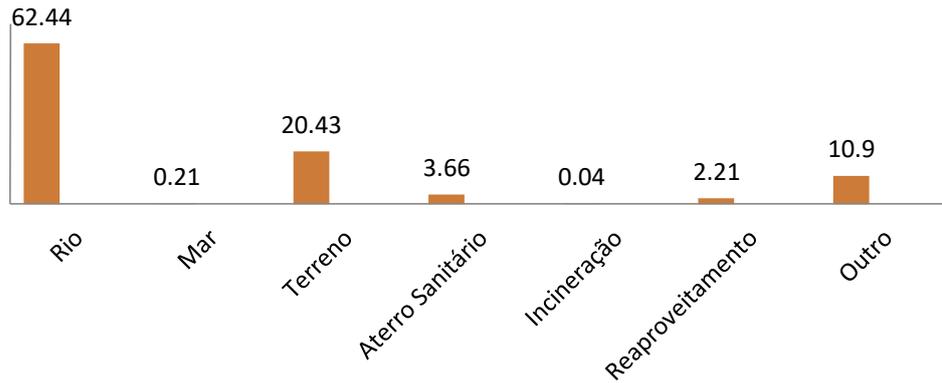
3.6.2. Destinação do lodo de ETA no Brasil e no mundo

De acordo com Agostini *et. al.* (2014), no Brasil a maior parte de lodo de ETA é disposta em cursos d'água. De, aproximadamente, 7500 ETAs no país, 70% destas lançam lodo nos rios.

O Estado de São Paulo, segundo a CETESB (2002), possui muitos municípios que não possuem condições adequadas para a disposição desse resíduo. Contudo, a porcentagem de municípios que possuem as condições inadequadas de 50,4% (1999) para 29,8% (2002). Esta relação mostra uma maior conscientização das prefeituras e dos órgãos reguladores de água.

Segundo o IBGE (2010), 5.564 dos municípios brasileiros, 2.098 produzem lodo no processo de tratamento da água. A disposição desse resíduo é apresentada no gráfico abaixo (lembrando que um município pode dar mais de um destino ao lodo).

Figura 6 - Gráfico de destinação do lodo dos municípios brasileiros em percentual.



Fonte: Adaptado IBGE, 2010.

Dos municípios que destinam lodo em rios (62,44%), a região sudeste é a que mais contribui seguida da região sul. É a região que possui maior demanda por água, conseqüentemente, maior produção de lodo.

Tabela 7 - Municípios que destinam o lodo gerado no tratamento de água em rios:

Região	Nº de municípios que geram lodo	Nº de municípios que destinam o lodo em rios
Brasil	2.098	1.415
Norte	84	46
Nordeste	537	231
Sudeste	896	703
Sul	442	330
Centro-Oeste	139	105

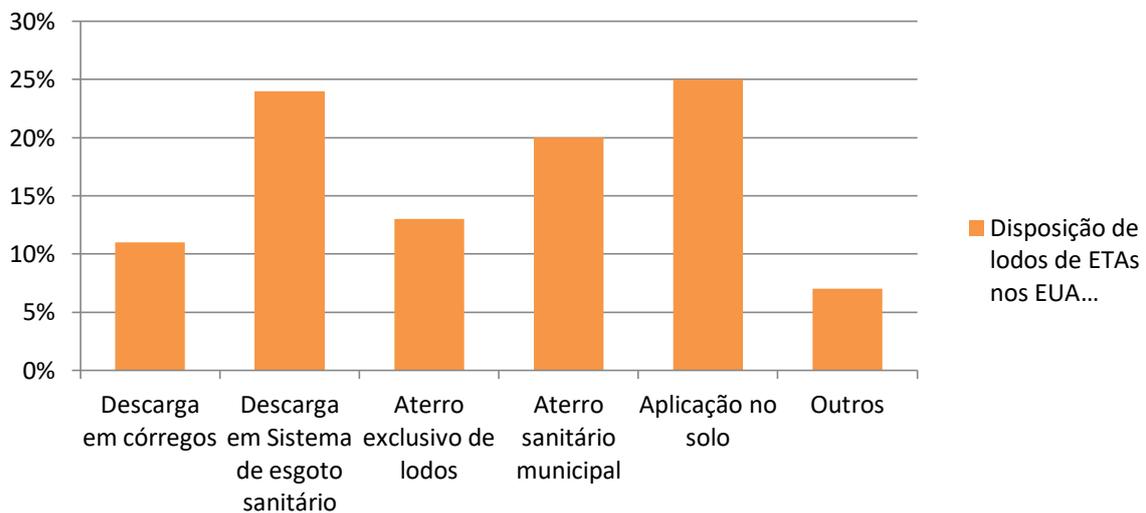
Fonte: Adaptado IBGE, 2010.

Conforme o trabalho de Achon *et al.* (2013), das 23 ETAs estudadas da sub-bacia do rio Piracicaba (SP), a principal destinação dos lodos é nos corpos d'água, sendo que 73% do lodo lançado em rios não possui um tratamento prévio, 4% são enviados para aterros e 23% das ETAs não disponibilizaram esta informação. Ainda de acordo com os autores, as informações sobre o lodo gerado em ETAs não são quantificadas ou medidas, o que impede uma melhor gestão do resíduo e a avaliação dos impactos ambientais provenientes dele.

Há 22 anos, Cordeiro (2003) fez um levantamento junto com as agências de saneamento e o resultado foi que: 79% das agências consideravam que o descarte do lodo é uma violação às leis ambientais e 21% acreditavam que não; 93% das agências estaduais não possuíam legislação que exigisse o tratamento do lodo de ETA antes de dispô-lo *in natura* e 86% não tinham encontrado problema de poluição causado pelo resíduo. Esses dados, apesar de antigos, mostram que, conforme a legislação tornou-se mais rigorosa, as agências de saneamento foram obrigadas a tomarem as medidas de descarte e reutilização do lodo.

Nos Estados Unidos, o uso do lodo de ETA tem sua maior utilização na aplicação no solo (25%), depois em aterros sanitários (os aterros são adotados em 20% das cidades com até 100.000 habitantes, conforme a AWWARF, 1995) e dispostos em cursos d'água (11%), segundo Cornwell *et al.* (1987) e expresso na figura 7. No Reino Unido mais de 50% do lodo é destinado aos aterros sanitários, 29% é destinado às estações de tratamento de esgoto (ETE) e 2% é disposto nos rios, de acordo com Simpson, Burgess e Coleman (2002).

Figura 7 - Disposição de lodos de ETAs nos EUA.



Fonte: Cornwell *et al.*, 1987.

Segundo o *UK Water Industry Sustainability Indicators 2004/2005*, o total de lodo gerado no Reino Unido em 2003/2004 foi de 1,3 t/ano e seu reaproveitamento foi de 77% e em 2004/2005 manteve-se a mesma quantidade, porém o reaproveitamento foi de 81%. Em 2010/2011, 80,3% do lodo gerado foi reaproveitado em aplicações no solo, 18% foi incinerado e 0,6% foi disposto em aterro. Na Grã-Bretanha a taxa de aplicação de lodo no solo não deve exceder 55m³/h e deve ser aplicado somente três vezes por ano (SKINNER *et al.*, 1996).

Na França, segundo levantamento de Adler (2002), as ETAs são de pequeno porte (vazão inferior a 500m³/h) e produzem em média 175 t/dia de lodo. 30% eram enviados à ETEs, 13% em aterro, 6% aplicação no solo e 51% em formas variadas de disposição, como incorporação em materiais de construção civil. As recentes imposições na legislação europeia quanto aos resíduos sólidos têm diminuído a prática de disposição em aterros sanitários.

Em Taiwan o método mais utilizado para disposição final do lodo de ETA é a incineração a fim de reduzir o volume e peso do resíduo (WANG *et al.*, 2013). Na Noruega o volume de lodo é pequeno, logo, o principal método de destinação é o de aplicação no solo.

Em Portugal são produzidos aproximadamente 200.000 t/ano de lodo, segundo o Plano Estratégico de Abastecimento de águas Residuais (PEAASAR II/2007). Göteborg é o segundo município mais populoso na Suécia, a população estimada é do município e região é de 780 mil habitantes. A companhia de tratamento e de água é a Rya e é estimado que seja produzido 50.000 toneladas de lodo por ano. O lodo tratado é usado na agricultura, aplicação no solo, ou disposto em aterros. Em 1998 os fazendeiros fizeram um boicote, de não aplicação do resíduo no solo, para que a qualidade do lodo tratado fosse aperfeiçoada, tivesse menos produtos químicos em sua composição. Em razão deste boicote, estudos foram feitos e aplicados para a diminuição dos produtos químicos no lodo. O sistema de água de Göteborg, nos últimos anos, caminha para uma gestão mais adequada ambientalmente: a porcentagem de perda de água está diminuindo e a qualidade da água bruta está melhorando. A eficiência da gestão do resíduo aumentou na mesma proporção que o desperdício de água diminuiu (LUNDIN *et al.*, 1999).

Na Itália são produzidos 15 000 000 de m³ de lodo de ETA e é normalmente destinado para aterros, com custo aproximado de 50 milhões de euro/ano. O aterro é a disposição final mais usual devido à legislação italiana ser pouco clara e muito rígida em relação às aplicações agrícolas (VERLICCHI e MASOTTI, 2000). Segundo Masi *et. al.* (2013) o volume de lodo gerado por ETAs no mundo anualmente é de 10.000 t/dia, portanto os estudos sobre avaliação de aproveitamento do lodo e suas potencialidades são de fundamental importância.

A tabela 8 mostra as principais destinações de alguns países e as porcentagens utilizadas por cada um.

Tabela 8 – Principais destinações do lodo por países:

Países/Destinação	Curso d'água (%)	Terreno (%)	Aplicação no solo (%)	Aterro (%)	Estação de tratamento de esgoto (%)	Incineração (%)	Outros (%)
Brasil	70%	20,43%		3,66%		0,04%	13,32%
EUA	11%		25%	40% *	24%		
Reino Unido			80,3%	0,6%		18%	
França			6%	13%	30%		51%

* Aterro sanitário e Aterro exclusivo de lodos.

Fonte: Elaborada pela autora.

3.7. Potencial tóxico, contaminantes e impactos ambientais

Os resíduos de uma ETA são potencialmente poluidores e contaminantes devido à presença de impurezas removidas da água bruta e dos componentes químicos adicionados através do coagulante durante o tratamento (LOMBARDI, 2009).

Os lodos de ETA dependem de alguns fatores para definir sua toxicidade para a fauna e flora do local: produtos químicos usados durante o tratamento, qualidade da água bruta inicial, contaminantes incluídos nos produtos usados, tempo de retenção dos resíduos nos decantadores e as características químicas e biológicas do corpo receptor (REALI, 1999).

De acordo com Barbosa *et al.* (2001), o lodo de ETA quando lançado em córregos ou rios pode provocar elevação da DQO (demanda química por oxigênio), inibição da atividade biológica e influir de forma negativa em áreas de criação e desova de peixes. Souza (2006) ainda complementa que a redução de oxigênio na água é causada pela decomposição da matéria orgânica existente no lodo.

Segundo a SABESP, a disposição inadequada de lodo no corpo hídrico eleva a quantidade de sólidos nos corpos d'água, altera o pH (normalmente diminui), aumento da cor e turbidez, causa liberação de odores, contribui para o assoreamento, pode causar toxicidade crônica aos organismos aquáticos e aumenta a concentração de alumínio e ferro.

A tabela abaixo foi feita por Di Bernardo *et al.* (2003) apresentando as características químicas e valores máximos permissíveis dos componentes inorgânicos do lodo de ETA.

Tabela 9 - Características químicas e valores máximos permissíveis dos componentes inorgânicos do lodo de ETA:

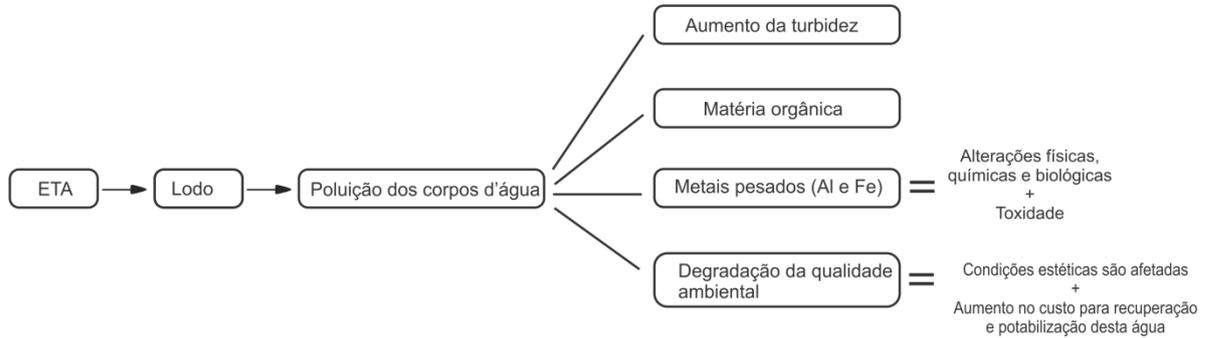
Características	Valor máximo permissível (VMP) ou faixa de valores
Arsênio (mg/L)	0,01
Bário (mg/L)	0,7
Cádmio (mg/L)	0,005
Chumbo (mg/L)	0,01
Cianetos (mg/L)	0,07
Cromo Total (mg/L)	0,05
Fluoretos (mg/L F)	1,5
Merúrio (mg/L)	0,001
Nitratos (mg/L N)	10
Prata (mg/L)	0,05
Selênio (mg/L)	0,01

Fonte: Di Bernardo *et al.*, 2003.

O sulfato de alumínio é o coagulante mais popular nas ETAs por ser eficiente e de baixo custo. De acordo com Soares *et al.* (2009), 83% dos municípios estudados utilizam o sulfato de alumínio no tratamento da água. O acúmulo de alumínio no corpo humano pode provocar efeitos nocivos como doenças neurodegenerativas (como Alzheimer e esclerose), anemia hipocrômica microcítica e osteomalácia (enfraquecimento dos ossos), segundo Tsutiya e Hirata (2001).

Messias (2013) analisou a eco toxicidade do lodo de ETA e conclui que as amostras de lodo foram altamente tóxicas aos organismos aquáticos e terrestres e, portanto seu descarte nos recursos hídricos deve ser evitado, pois tais toxinas podem afetar a cadeia trófica.

Figura 8 - Rede de interação dos impactos ambientais gerados pelo lançamento *in natura* do lodo de ETA.



Fonte: Adaptado de Achon *et. al.*, 2005.

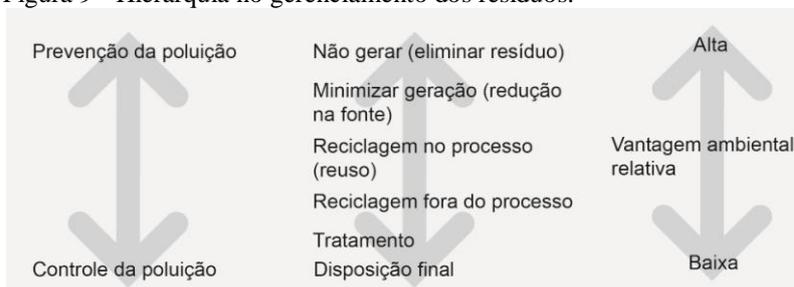
O argumento de que o lodo gerado por ETA é originado de água bruta e logo deve ser retornado a sua fonte não é válido. Esta prática é inviável, pois há a adição de produtos químicos em concentração superior a encontrada na água bruta (WANG *et al.*, 2013).

3.8. Alternativas de redução de volume de lodo e de destinação correta do lodo

O custo do transporte e as restrições ambientais tornam a destinação final do lodo uma missão difícil para as concessionárias de água. Há inúmeras possibilidades de disposição e aproveitamento do resíduo, a escolha estará subordinada à possibilidade financeira, técnica e ambiental (RICHTER, 2001). Normas ambientais cada vez mais rígidas e o elevado custo de disposição do resíduo em aterros fazem com que pesquisas sejam feitas para encontrar maneiras viáveis de tratamento e disposição final dos lodos (TSUTIYA E HIRATA, 2001).

De acordo com a agência ambiental americana, *Environment Protection Agency* (EPA), antes de pensarmos em disposição final, deveria-se pensar seguindo o fundamento: Prevenção (evitar a geração) → Redução (gerar o mínimo possível) → Reaproveitamento (reutilizar no próprio processo que o gerou ou em outro processo) → Reciclagem (modificá-lo de forma a servir de matéria-prima para outro processo).

Figura 9 - Hierarquia no gerenciamento dos resíduos.



Fonte: Parsekian, 1998.

A questão do lodo de ETA tem sido preocupação nos Estados Unidos desde a década de 30 (CORDEIRO, 2003). A AWWA (American Water Works Association) em 1946 organizou o comitê “E. 5-8 – Disposição de Resíduos de Estações de Tratamento de Água e Estações de Abrandamento” e é considerada a primeira publicação sobre os resíduos de ETAs.

Em Nova Odessa – SP, a Companhia de Desenvolvimento (CODEN) - empresa responsável pelo saneamento básico da cidade – investiu na modernização dos decantadores e ampliou a capacidade de tratamento de água na cidade. O novo decantador da ETA do Jardim Bela Vista possui uma nova laje de fundo com nova inclinação e canaleta central para auxiliar na limpeza dos decantadores além de resultar numa economia de 200 mil litros de água por dia durante o processo de remoção do lodo (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO – CODEN, 2016).

Nova Odessa gera aproximadamente 13m³ de lodo por dia. Parte deste (lodo é conduzida para compostagem, outra é destinada à fabricação de tijolos de forma experimental em uma olaria e a última parte é encaminhada desidratada em leito de secagem e depois de seco é enviado para aterro sanitário em outra cidade, gerando um custo de R\$ 40 mil para a empresa. Em vista disso, foi estudado e explorado o reaproveitamento do lodo como adubo (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO – CODEN, 2016). O primeiro teste de uso como adubo se deu da seguinte forma: foi feita uma plantação experimental de milho de 300m² e essa área foi dividida em três partes, a primeira parte foi adubada com adubo químico, a segunda parte não foi adicionado nada e na terceira parte foi utilizado o lodo como adubo. Os engenheiros químicos da CODEN constataram que a produtividade do milho adubado com lodo foi de até 40% maior que com o adubo químico, além de concluírem que o sistema de armazenamento e desidratação do lodo usado na cidade pode ser adotado em pequenas e médias ETAs – em razão da quantidade de lodo gerado. A vantagem de leitos de secagem é não ter custo de operação e manutenção e não gastar energia. A Prefeitura de Nova Odessa já estuda adubar áreas verdes de praças e jardins da cidade, usar o lodo no replantio e recuperação de áreas públicas com vegetação rasteira.

De acordo com Tsutiya e Hirata (2001), há alternativas de reaproveitamento e disposição do lodo, dependendo da sua composição e porcentagem de incorporação. Tais como:

- Lançamento em cursos d’água: Sujeita-se às permissões dos órgãos e normas ambientais e às propriedades e volume do rio ou córrego a fim de evitar degradação da água e

alteração do ecossistema presente (RICHTER, 2001). Caso lançado *in natura* pode causar degradação ambiental e alterar a biota aquática.

- Aplicação no solo: Despeja-se o lodo em terreno natural ou solo agriculturável. É viável se não houver existência de reações negativas no solo receptor (TSUTIYA e HIRATA, 2001). O dano se dá caso houver alta concentração de alumínio, devido ao uso do coagulante, tornando inadequado o crescimento das plantas, segundo Reali (1999), logo, sua aplicação deve ser controlada. Conforme, ainda, Richter (2001), o custo de transporte e a pouca aceitação dos agricultores, não ajudam a maior implantação da técnica. Contudo, a SANEPAR (COMPANHIA DE SANEAMENTO - SANEPAR, 2010) afirma que tal método ajuda a recuperar áreas degradadas, pois o lodo é composto por elementos do solo e possui nutrientes para o desenvolvimento das plantas. Rosário (2007) analisou que em plantações de limão e laranja (frutas cítricas) há deficiência de ferro. Então a aplicação de lodo no solo é eficiente caso o coagulante usado na ETA sejam sais de ferro. O lodo pode ser aplicado em sua fase sólida ou líquida, é necessário considerar a absorção de nutrientes pelo solo e seu acúmulo de metais.

- Despejo em aterro sanitário: Segundo Richter (2001), é uma alternativa executável apesar de seu custo alto de transporte e execução e de restrições ambientais. É uma prática confiável apenas se estiver dentro da legislação vigente (JANUÁRIO E FERREIRA FILHO, 2007). Para ser disposto em aterro, o lodo deve conter de 15 a 30% de sólidos secos (se for rico em alumínio, o teor de sólido é de 25%, no mínimo). Para restringir e licenciar a disposição em aterro usa-se a Norma Brasileira NBR 10.004 (2004). Sob outra perspectiva, Hoppen *et al.* (2005) garante que é uma técnica inviável devido seu alto custo de implantação e das características sólido-líquido do lodo. Richter (2001) ainda afirma que a disposição final em aterro deve ser a última alternativa a se considerar devido ao transporte, que depende da distância envolvida. Segundo Januário e Ferreira Filho (2007), há a necessidade de uma área grande perto do centro gerador de lodo e que não gere impactos ao ambiente e comunidades vizinhas.

- Incineração: Segundo Reali (1999), além de custos altos, essa alternativa resulta em cinzas, que futuramente também terão que ser dispostas. Isto é, seria apenas a transferência de um problema. A vantagem é a redução do volume do lodo. Conforme os dados da SABESP (COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO FO ESTADO DE SÃO PAULO, 2002), o custo para incineração chega a R\$ 2000,00 por tonelada de lodo. Para o lodo ser incinerado, o

incinerador deve trabalhar em temperaturas altas para tornar o lodo um material estável e inofensivo, seu peso volume irá ser reduzido em 85% e 95%. Além de o incinerador ter que impedir o lançamento dos gases para a atmosfera (SABBAG E MORITA, 2003).

- Recuperação do coagulante: Esta alternativa possibilita a redução de volume de lodo a ser descartado e da concentração de metais pesados presentes no mesmo, permite a reciclagem dos produtos químicos utilizados no tratamento e, conseqüentemente, reduz o custo em até 45%. A opção tecnológica cujo alcance industrial foi maior é a por via ácida (ANDRADE, 2005).

- Concreto: Os principais componentes do cimento Portland (Ca, Si, Al, Fe) também são encontrados no lodo, então a incorporação em porcentagens adequadas na argamassa, cerâmica e concreto, são viáveis. Andreoli (2001) analisou o lodo da ETA Passaúna/PR durante dois meses e estudou a incorporação do lodo em matriz de concreto. Constatou-se a possibilidade de incorporação de até 7% de lodo em artefatos e estruturas pré-moldadas em concreto.

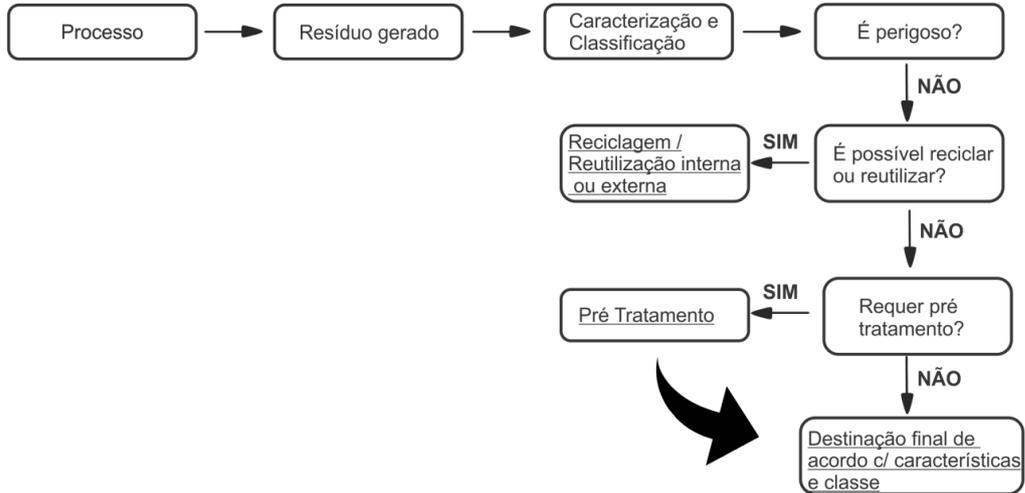
- Em estações de tratamento de esgoto (ETE): Segundo Brink *et. al.* (2005), tal método depende da proximidade de uma ETE a uma ETA e com condição operacional de receber e tratar do lodo. É uma opção viável, porém prevê custos já que a ETE deve ser preparada para receber maior volume de lodo a ser processado, custo de transporte e despejo final. É uma técnica usual quando não há áreas disponíveis na ETA para o sistema de tratamento de lodo. É viável se a rede da ETE possuir declividade suficiente para carregar os sólidos presentes no lodo e estiver trabalhando com folga operacional para incorporar a vazão adicional do lançamento (REIS, 2006).

- Cerâmica vermelha: De acordo com Margem (2008), a incorporação de lodo nas massas de cerâmica vermelha resulta em ganhos ambientais, como o uso de resíduos com problemas de disposição final e diminuir a quantidade de matéria-prima, argila, usada na fabricação das cerâmicas, e ganhos econômicos para os fornecedores de resíduos para a indústria de construção civil devido às suas propriedades químicas e físicas semelhantes. A massa de argila permite o acréscimo de lodo em proporções relativamente altas (até 15%) devido ao lodo de ETA possuir propriedades químicas e físicas similares à massa de cerâmica vermelha (MEGDA *et al.*, 2005). A pesquisa de Souza *et al.* (2008) concluiu que a queima de tijolos com incorporação de lodo na massa cerâmica aumentou a emissão de gás metano e de

dióxido de carbono conforme o aumento da proporção de lodo na massa, portanto há uma preocupação ambiental em se produzir tijolo cerâmico com adição de lodo em grande escala.

O SEBRAE/RJ lançou em 2006 o Manual de Gerenciamento de Resíduos e elaborou um fluxograma de gerenciamento de resíduos sólidos. Pode-se observar que a opção de disposição final é exclusiva apenas para quando não for possível reciclar ou reutilizar o resíduo.

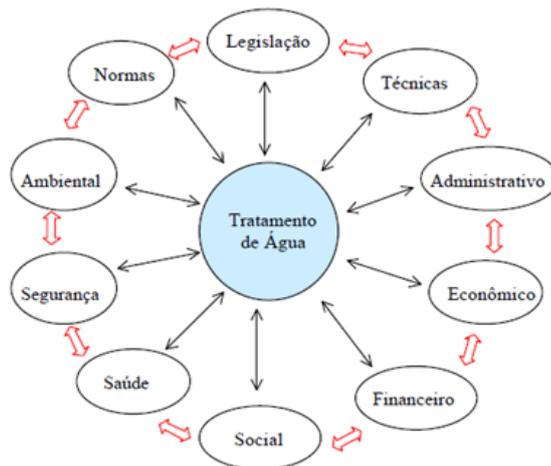
Figura 10 - Fluxograma adaptado de gerenciamento de resíduos sólidos não perigosos.



Fonte: SEBRAE/RJ - Manual de Gerenciamento de Resíduos, 2006.

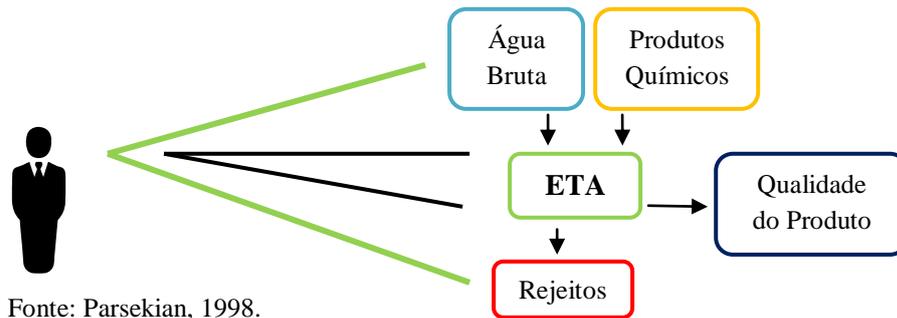
Para uma ETA funcionar de maneira que, não só produto final tenha qualidade garantida, porém todo o processo é preciso manter uma visão abrangente de todos os setores que englobam o sistema. A figura 11 apresenta o esquema dos aspectos envolvidos em uma ETA.

Figura 11 - Esquema dos setores que abrangem uma ETA.



Fonte: Parsekian, 1998.

Figura 12 - Visão que um gerente de uma ETA deveria ter.



O esquema acima (figura 12) representa o ponto de vista que um gerente de uma ETA deveria ter (linha verde) e o ponto de vista que a maioria tem (linha preta). Uma visão holística sobre o sistema é necessária para compreender as variáveis envolvidas em cada processo e o que pode ser feito para melhorar o sistema como um todo. O fato de a empresa ter dados sobre os processos não significa que tais informações estão sendo usadas com o propósito de se melhorar o tratamento ou reduzir os rejeitos.

Parsekian (1998) concluiu que o conceito de gerenciamento em uma ETA é, ainda, muito limitado sob a ótica do gestor responsável cujo pensamento se restringe a produzir o produto final com qualidade estabelecida pela legislação e não abrange o processo como um todo.

Segundo o levantamento bibliográfico, diversos autores chegaram a um consenso: a maioria das ETAs brasileiras obtêm dados para serem usados momentaneamente - para fins de supervisão e conferência de normas - e não para gerar informações que auxiliem na tomada de decisões em longo prazo.

3.9. Aspectos legais vigentes

A maioria dos sistemas de tratamento de água brasileiros, segundo Achon *et al.* (2005), não seguem as legislações estaduais, assim, ultrapassam os padrões de lançamento de resíduos nos rios e córregos. Portanto, tal fato salienta a necessidade de avaliação do lodo de ETA e seus aspectos ambientais. Compreendendo as características do lodo e as leis vigentes, facilita a elaboração de meios para diminuir a produção de resíduo e a técnica de tratamento para o reaproveitamento ou disposição final.

A lei nº 12.305/2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Segundo ela, deve se priorizar a não geração de resíduos, a redução, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e sua disposição final adequada (após todas as alternativas de tratamento e

reaproveitamento serem estudadas). A lei dispõe sobre as diretrizes e ao gerenciamento dos resíduos por parte de seus geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. A lei também define ‘resíduo’ e ‘rejeito’ (art. 3º da lei 12.305/2010), sendo que resíduo é apto a ser reutilizado e reciclado, como o lodo de ETA se enquadra na NBR 10004 como resíduo sólido, logo, precisa ser trabalhado de forma a seguir a legislação.

Segundo a Lei 9.605/1998, conhecida como Lei dos Crimes Ambientais, estabelece sanções penais e administrativas aos responsáveis por danos ambientais. No Capítulo V “Dos Crimes Contra o Meio Ambiente”, as penas são designadas para cada delito de acordo com a gravidade. O Art. 54 define: causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora” e no parágrafo 2º (inciso V): “ Se o crime ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos... em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos, a pena prevista é de reclusão de um a cinco anos” (BRASIL, 1998).

O lodo de ETA se enquadra como Resíduo Sólido Classe IIA – Não Inerte segundo a Norma NBR 10004 (2004). Contudo, seguindo as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 430:2011 e 357:2005 estabelece as condições e parâmetros para “a gestão de lançamento de efluentes em corpos d’água receptores” e determina que qualquer fonte poluidora somente poderá ser lançada em rios/córregos se forem tratadas adequadamente e obedecerem aos padrões da resolução ou de outras normas. A Lei 9.433/97, conhecida como a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH determina que:

O lançamento de resíduos líquidos, sólidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final em corpos d’água, além de outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água, está sujeita à outorga do Poder Público (BRASIL, 1997).

4 METODOLOGIA

4.1. Contextualização

Inicialmente em todas as etapas foram feitos aprofundados estudos bibliográficos sobre o tema. A revisão compreende a coleta e análise de todos os dados, documentos, instruções, bibliográfica especializada (monografias, dissertações, teses, periódicos, revistas técnicas) e legislações disponíveis referentes ao assunto do lodo de ETA. A revisão da literatura abordou sobre tratamento da água, mananciais, geração do lodo, sua composição

química e propriedades, tratamento, volume gerado, disposição final e reaproveitamento, potencial tóxico e impactos ambientais, maneiras de se destinar corretamente e aspectos legais vigentes.

Esta fase de embasamento teórico estendeu-se ao longo do trabalho e conduziu a pesquisa para as referências necessárias para o entendimento do assunto, análise e conclusões sobre o objetivo do trabalho.

4.2. Definição do local de estudo

Foram selecionadas três ETAs (ETA A, B e C) no Estado de Mato Grosso do Sul, de diferentes portes, constituindo de empresas públicas, privadas ou mistas, cuja tecnologia de tratamento seja de ciclo completo e sendo existente ou não o tratamento do resíduo.

4.3. Principais características das ETAs analisadas

A seguir, são apresentadas as principais características do projeto de cada ETA analisada.

4.3.1. ETA A

A cidade onde se localiza a ETA A possui duas captações superficiais e possui captações subterrâneas que correspondem a 45% do total de água que abastece o município (atualmente 148 poços em operação). Possui administração privada e opera há 30 anos (início em 1985).

A ETA A é responsável pelo abastecimento de 34% da população, com tecnologia de ciclo completo, vazão média anual de 1000 l/s e usa-se policloreto de alumínio como coagulante. Possui controle de perdas de água, porém não é feito o controle de quantidade de água utilizada nas lavagens dos decantadores.

A represa ocupa uma área de 360 km² e possui volume de água de 4 milhões de m³. Nesta ETA em questão, há programa de conservação de mananciais e não há lançamento de esgoto à montante de captação. A limpeza dos decantadores é realizada a cada 3 meses e utiliza-se água tratada para a lavagem dos decantadores resultando assim em perda de água e de produtos químicos. O volume de lodo gerado anualmente chegou ao valor de 381.408 kg de acordo com o cálculo a partir de uma equação.

A ETA assinalou na questão sobre o tratamento do lodo que “o lodo é parcialmente tratado”: o que significa, implicitamente, no volume de lodo que não é lançado *in natura* nos

curtos d'água, e na questão sobre o controle de quantidade do lodo “o lodo gerado não é medido ou considera-se apenas o volume do decantador”.

De acordo com a ETA o lodo gerado “vai para o tanque de decantação, a parte líquida vai para a rede de esgoto e a parte sólida fica no tanque até que seque. Depois de seco o material é armazenado”. A ETA não especificou onde o lodo seco é armazenado. O lodo destinado à ETE se mistura com o lodo de esgoto: “é realizado um procedimento de secagem e o lodo é aplicado como adubo no próprio solo da ETE respeitando os parâmetros legais”, segundo o questionário preliminar da ETA.

4.3.2. ETA B

A ETA B localiza-se em uma cidade onde há duas captações superficiais, sendo que a mesma é responsável por 16% do abastecimento do município. Sua administração é privada.

A vazão média anual é de 500 l/s e o coagulante utilizado é o policloreto de alumínio. O tratamento de água é o de ciclo completo. Não há controle de quantidade de água utilizada nas lavagens dos decantadores.

Possui programa de conservação de mananciais e não há lançamento de efluentes à montante de captação. A limpeza dos decantadores é feita a cada 3 meses e utiliza-se água tratada para a lavagem dos decantadores.

O volume de lodo gerado estimado por fórmula. De acordo com a empresa responsável, é gerado 674.583 kg de lodo. Quanto à questão do tratamento de lodo: “é parcialmente tratado” e na questão sobre o controle da quantidade de lodo: “o lodo gerado não é medido ou considera-se apenas o volume do decantador”.

Tanto a ETA A quanto a ETA B não medem a quantidade de lodo (o lodo é apenas estimado por equação) e não avaliam suas características físico-químicas.

4.3.3. ETA C

A ETA C possui administração mista abastece é de 84,5% da população atualmente (IBGE, 2016). A ETA possui 25 anos de funcionamento.

A vazão média anual é de 485 l/s e o coagulante utilizado é o sulfato de alumínio líquido/granulado. Para correção do pH é utilizado a cal hidratada, usando o polieletrólito como produto auxiliar e a dosagem é feita de forma mecanizada. O tratamento de água é o de ciclo completo. O controle de quantidade de água utilizada na lavagem dos filtros é feito através de cronometragem nos tempos de lavagens.

Não há lançamento de efluentes à montante de captação e a limpeza dos decantadores é realizada a cada 15 dias de forma manual, utilizando-se água tratada para a lavagem dos decantadores. O volume de lodo gerado não é medido e nem tratado.

4.4. Questionário

Foram elaborados questionários para obter as informações de projeto, processo e aspectos gerais de cada ETA, bem como sobre a geração do resíduo, produtos químicos utilizados e destinação final do lodo.

As perguntas dos questionários foram elaboradas em linguagem técnica simples, mas sem prejudicar a geração de dados e informações necessárias para o trabalho, tais como: dados gerais, dados de projetos e implantações, mananciais e água bruta, produtos químicos e resíduos e perdas. No Apêndice A consta o questionário enviado às empresas.

Os dados gerais formaram a base para análise e promoveram a caracterização qualitativa e quantitativa de cada ETA. Na tabela 10, encontram-se descritos os principais dados levantados no questionário das três ETAs.

Tabela 10 – Dados levantados no questionário.

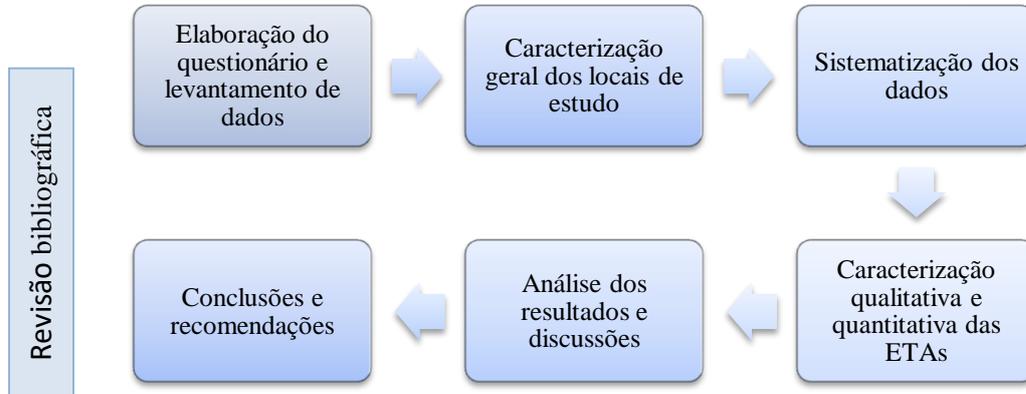
Item	Dados
Aspectos gerais	- Tipo de empresa (pública, privada ou mista); - População abastecida; - Vazão média anual de operação (l/s); - Tecnologia de tratamento.
Projeto e implantação	- Início de funcionamento da ETA; - Localização da ETA.
Manancial e água bruta	- Lançamento de esgoto à montante de captação; - Programa de conservação dos mananciais.
Produtos químicos	- Coagulante utilizado; - Produtos adicionais.
Resíduos e perdas	- Tipo de água utilizada na limpeza dos decantadores; - Volume anual de lodo gerado; - Frequência de limpeza dos decantadores; - Índice de lodo tratado; - Controle de perdas de água; - Controle de quantidade de água utilizada nas lavagens dos filtros e decantadores; - Controle de volume de lodo gerado nos decantadores.

Fonte: Elaborado pela autora.

4.5. Análise de dados

Baseado nos dados levantados foi elaborado um diagnóstico de gestão do lodo gerado e avaliado se o método existente de gerenciamento é adequado nas ETAs. Os resultados, ainda, deverão contribuir para o entendimento de inúmeros dados gerados, iniciando discussão sobre o tema dentro da organização.

Figura 13 – Fluxograma das etapas desenvolvidas neste trabalho.



Fonte: Elaborado pela autora.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Análise e discussão dos resultados

5.1.1. Projeto e implantação

As três ETAs possuem tecnologia de ciclo completo, sendo que uma ETA usa como coagulante o sulfato de alumínio e as outras duas usam o policloreto de alumínio. Duas ETAs possuem administração privada e uma possui administração mista. A população abastecida varia entre 12 mil a quase 380 mil habitantes e a vazão média anual varia entre 485 a 1000 l/s.

Na tabela 11 são apresentados os dados gerais referentes ao tipo de administração, vazão média anual, coagulante utilizado e início da operação das três ETAs estudadas.

Tabela 11- Dados gerais das três ETAs analisadas.

ETA	Tipo de administração	Vazão média anual da operação (l/s)	Coagulante utilizado	Início da operação
A	Privada	1000 l/s	Policloreto de alumínio	1985
B	Privada	500 l/s	Policloreto de alumínio	1966
C	Mista	485 l/s	Sulfato de alumínio líquido/granulado	1990

Fonte: Elaborado pela autora.

As ETAs A e B possuem administração privada, sendo a ETA A projetada há 31 anos e a ETA B há 50 anos. A ETA C possui administração mista e foi projetada há 26 anos. Entretanto mesmo após 24 anos de diferença entre a primeira e a última estação projetada, as três ETAs possuem a mesma tecnologia de ciclo completo.

Ressalta-se que as ETAs A e B utilizam o mesmo coagulante em seu processo de tratamento de água e utilizam cloro, flúor e cal hidratada durante o processo. A ETA C utiliza, além do coagulante, cal hidratada para corrigir o pH da água e polieletrólito como produto auxiliar. As estações de tratamento B e C possuem vazões médias anuais similares – diferença de 15 l/s enquanto a estação de tratamento A possui o dobro da vazão da ETA B.

As três ETAs possuem laboratório próprio, sendo a ETA C com laboratórios próprios e conveniados.

5.1.2. Mananciais

A qualidade e a gestão dos mananciais foram analisadas através de dados quanto à existência de lançamento de esgoto no mesmo, se há programas e/ou ações de conservação e se a empresa possui outorga pelo uso da água.

O Quadro 1 apresenta os aspectos gerais de gestão dos mananciais das três ETAs.

Quadro 1 - Controle e gestão dos mananciais que abastecem as ETAs

Aspectos Gerais	Mananciais da ETA A	Mananciais da ETA B	Mananciais da ETA C
Lançamento de esgoto à montante da captação	Não	Não	Não
Programa de conservação de mananciais	Sim	Sim	Sim
Outorga pelo uso da água	Sim	Sim	Sim

Fonte: Elaborado pela autora.

Pelo Quadro 1 pode se observar que todas as ETAs não lançam esgoto à montante de captação e possuem programas de conservação dos mananciais. As três ETAs possuem programas socioambientais com a parceria das prefeituras das cidades onde estão localizadas e as ETAs A e B possuem o certificado ISO 9001:2000 desde 2003 pelo seu Sistema de Gestão de Qualidade. Nas três ETAs as informações sobre os sistemas são compartimentadas, ou seja, cada setor é responsável pelos dados que gera.

O manancial utilizado pela ETA A encontra-se em área de preservação ambiental, sendo utilizado também para a dessedentação de animais, ocasionando a ocorrência de processo de erosão e assoreamento devido o pisoteamento do gado nas margens do curso d'água. Segundo o decreto municipal da área de proteção ambiental em que o manancial está

localizado, proíbe-se o corte da vegetação ao longo das margens do manancial em largura de 200m.

Foram apresentadas ações de “boas práticas ambientais” nas ETAs, tais como:

- Plantio de 52.381 mudas nas áreas do manancial da ETA A;
- Plantio de 6.112 mudas nas áreas do manancial da ETA B;
- A ETA C possui parceria com escolas para desenvolver trabalhos de educação sanitária e ambiental com alunos da pré-escola até ensino fundamental;
- As ETAs A e B coordenaram os estudos e diagnósticos que basearam a formulação do Plano de Manejo das áreas de proteção ambiental dos mananciais utilizados por cada estação;
- As ETAs A e B possuem projeto de reutilização da água de lavagem dos filtros – que é uma forma de reutilizar a água além de economizar energia e desperdício de produtos químicos utilizados durante o processo de tratamento.

5.1.3. Limpeza do sistema de tratamento e resíduo gerado no decantador

O Quadro 2 apresenta as informações sobre o controle de perdas de água nas ETAs e, sobre o tipo de água utilizada na lavagem dos filtros e decantadores e o volume anual de lodo gerado nos decantadores.

Quadro 2 - Controle de perdas de água nas ETAs e volume anual de lodo gerado nos decantadores.

ETA	Controle de perdas de água	Controle de quantidade de água utilizada nas lavagens dos decantadores	Volume anual de lodo gerado (kg)
A	Sim	Não é feito	381.408 kg ²
B	Sim	Não é feito	674.583 kg ²
C	DND ¹	Através de cronometragem nos tempos de lavagens	Não é medido.

¹ Dado Não Disponibilizado

² Estimado por fórmula.

Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados do Quadro 2 mostram que as ETAs A e B possuem controle de perdas de água durante o processo de tratamento porém não fazem o controle da quantidade de água que é gasto para lavar os filtros e decantadores portanto através dos resultados do quadro não é possível fazer a comparação entre quantidade de água perdida nas lavagens e água perdida durante o processo de tratamento. Já a ETA C não disponibilizou a informação sobre se possui o controle de perdas de água, porém estimam a quantidade de água gasta nas lavagens através da cronometragem do tempo gasto para lavar os decantadores e filtros.

Todas as ETAs usam água tratada para lavar os filtros e decantadores após a fase de coagulação e desinfecção, resultando em perdas de água já tratada e dos produtos químicos que foram utilizados durante o processo.

A ETA B, mesmo possuindo vazão média anual menor que a ETA A e abastecendo menos habitantes, gera mais lodo que a ETA A, conforme os dados do Quadro 2. O principal motivo provavelmente é a poluição e o assoreamento de seus mananciais uma vez que mananciais mais degradados precisam de mais produtos químicos e logo geram maior quantidade de resíduo.

Ressalta-se que, independente de haver destinação final, em nenhuma ETA possui um sistema de medição ou de dimensionamento da geração dos lodos. As ETAs A e B aplicam métodos teóricos para estimar o volume de lodo gerado.

Conforme o questionário respondido por cada ETA, o tempo de permanência do lodo nos decantadores é de 3 meses nas ETAs A e B e 15 dias na ETA C. Com o tempo o lodo acumulado nos tanques tem a sua concentração aumentada, tornando-se mais agressivo ao meio ambiente caso seja disposto *in natura*. Sendo que duas das três ETAs afirmam que o lodo é parcialmente tratado e uma ETA afirma que o lodo não é tratado o que poderá causar danos ao corpo d'água em que for disposto e os jatos de água necessários para a limpeza do lodo no decantador não serão suficientes, precisando do uso de raspadores manuais e, logo, o contato direto de funcionários com o resíduo.

O Quadro 3 apresenta o dado de eficiência do controle de quantidade de lodo.

Quadro 3 – Dados de eficiência do controle de quantidade de lodo.

ETA	Eficiência do controle de quantidade de lodo
A	média eficiência do controle da quantidade de lodo gerado nos decantadores, ou seja, o volume de lodo gerado é estimado por fórmula
B	média eficiência do controle da quantidade de lodo gerado nos decantadores, ou seja, o volume de lodo gerado é estimado por fórmula
C	baixa eficiência do controle da quantidade de lodo gerado nos decantadores, ou seja, o volume de lodo gerado não é medido ou considera-se apenas o volume do decantador

Fonte: Elaborado pela autora.

Baseado nesses dados foi diagnosticado a eficiência de controle de quantidade lodo gerado nos decantadores conforme o Quadro 3. Os resultados foram determinados em razão das condições de medição de quantidade de lodo gerado nos decantadores. As ETAs A e B apresentam média eficiência de controle de quantidade, pois apenas estimam o volume de resíduo por meio de fórmulas. Já a ETA C possui baixa eficiência por não quantifica o lodo gerado.

As ETAs A e B afirmaram no questionário que o volume de lodo gerado é parcialmente tratado e a ETA C afirmou que o volume gerado não é tratado. Este dado apresenta, de forma implícita, que se o lodo não é tratado – ou apenas uma parcela dele é tratada - ele está sendo disposto *in natura* no meio ambiente, sendo os cursos d'água receptores de lodo passíveis de danos ambientais como assoreamento e deterioração da qualidade da água.

5.2. Análise crítica dos resultados

As ETAs analisadas, apesar de não lançarem esgoto à montante e possuírem programas de conservação dos mananciais, ainda não fazem o tratamento total do lodo e também não possuem o controle real da quantidade do resíduo gerado.

Ao analisar os dados referentes à eficiência do controle de quantidade de lodo e se há tratamento de lodo respectivamente, é possível notar que as três ETAs contrapõem as diretrizes ambientais de gerenciamento do lodo. Apenas duas ETAs fazem o tratamento parcial do resíduo e estimam o volume com imprecisão. Observou-se que as ações de gerenciamento de resíduo são feitas através de medidas isoladas como o controle de perdas de água e programa de conservação dos mananciais.

Uma ETA gera mensalmente inúmeros dados e informações sobre seu sistema, porém obter muitos dados não garante que a empresa os empregue de forma a alcançar um tratamento mais adequado – redução de custos preservando a qualidade da água tratada. Desse modo cabe aos gestores da estação a interpretação de dados para que a empresa possa atingir seus objetivos e planejar metas em longo prazo.

Ressalta-se que algumas informações não foram disponibilizadas pelas empresas conforme previsto no questionário. Isso ocorreu em razão de:

- Inexistência de alguns dados;
- Indisponibilidade de acesso;
- Unidade de medida utilizada (padronização);
- Uma única pessoa detentora de informações;
- Informações e dados separados por departamentos.

6. PROPOSTAS

Há carência de conscientização das ETAs acerca de que seus resíduos interferem no meio ambiente e suas atividades são sujeitas a consequências ambientais negativas ou

positivas. Para isso, é necessário pensar no conjunto de atividades como um todo, pois cada etapa do processo de tratamento influencia o volume de lodo gerado. Após a análise sobre o gerenciamento do lodo nas ETAs, verificou-se que sem um conhecimento aprofundado sobre o tema não é possível a existência de planejamento. Conhecimento sobre o assunto, quantificar volume existente, averiguar a possibilidade de mais quantificações e análise de dados atuais são as etapas que precedem o planejamento e definição de metas.

A análise apresentada possibilitou formular propostas que proporcionem o aproveitamento das informações disponíveis sobre o resíduo das três ETAs além de promover reflexões acerca do gerenciamento do mesmo, assim como sua possível minimização e reaproveitamento.

Em relação aos mananciais sugere-se que:

- Seja feito o acompanhamento histórico de suas condições de uso e ocupação das margens e áreas de proteção ambiental (zoneamento ambiental);
- Através de análises químicas, físicas e biológicas, acompanhar a qualidade da água do manancial;
- Na escolha de futuros mananciais, avaliar a geração de resíduos como fator importante a ser considerado;
- Baseado na legislação existente, estabelecer programas/ações de proteção dos mananciais.

Em relação à destinação e disposição final do resíduo e aspectos gerenciais e operacionais das estações de tratamento:

- Sejam realizados análises e caracterização do lodo para obter maiores informações sobre suas micro e macro propriedades e avaliar seu potencial de utilização e seu potencial poluidor visto que a caracterização do lodo é o primeiro passo para que a escolha do destino e disposição sejam feitos;
- Levantamento quantitativo mensal do lodo gerado em cada ETA, além de seus dados qualitativos;
- Avaliar as características físico-químicas e mineralógicas do lodo em função da época do ano em que o resíduo é produzido, assim, poderá ser analisado a relação do lodo em função da turbidez e nível do corpo d'água;
- Das alternativas de destinação do lodo, a mais viável para as três empresas é investir em estudos, equipamentos e laboratório para desidratar o lodo e posteriormente

incorporá-lo em materiais cerâmicos, concreto não estrutural, na construção civil, assim como exemplo de outras empresas do setor de tratamento de água;

- Estudar os índices de incorporação do lodo em materiais da construção civil;
- Adquirir os produtos químicos utilizados no processo de tratamento de empresas que sejam certificadas em órgão fiscalizador pois a qualidade dos produtos utilizados influenciam no volume do lodo gerado (produtos de maior qualidade necessitam de doses menores e logo geram menor quantidade de lodo);
- Utilização de testes e estudos para preparar e melhorar a dosagem dos produtos químicos;
- As empresas precisam ter o controle do volume de água gasto na lavagem dos decantadores e filtros;
- As empresas necessitam investir em estudos da reutilização da água de lavagem no processo de tratamento;
- As empresas devem exigir que seus funcionários usem roupas adequadas durante a lavagem manual dos decantadores para que não tenham contato direto com o lodo;
- Parceria entre as empresas e as instituições de ensino para melhorar e câmbio de informações relativas ao resíduo gerado pois a qualidade das informações pesquisadas são essenciais para análise da interferência do lodo *in natura* nos corpos hídricos e na escolha das alternativas para disposição final;
- Análise das áreas externas de cada ETA para observar a possibilidade de implantação de alternativas de tratamento do lodo.

7. CONCLUSÕES

A avaliação do gerenciamento e volume de lodo gerado em ETAs é fundamental para compreender a situação da gestão do resíduo em diferentes estações do Estado de Mato Grosso do Sul uma vez que para planejar é preciso conhecer os dados disponíveis para então definir metas. Através dos dados levantados podem-se expor as situações a se melhorar, padronizar parâmetros para estes sistemas e discutir sobre a cultura (ou a falta dela) de gestão do lodo das ETAs. O diagnóstico do lodo gerado também permite que as estações de tratamento percebam seu posicionamento no mercado em relação às demais. Os resultados obtidos futuramente podem ser comparados em uma análise evolutiva (através do tempo) na mesma ETA e também de forma comparativa entre as diferentes ETAs.

O conhecimento do volume de lodo gerado pelas ETAs e os aspectos legais que os regem são essenciais para se definir estratégias de gerenciamento e/ou disposição final, minimização de geração e escolha de tratamento mais adequado do resíduo. Deve-se abolir a ideia de que o resíduo de ETA é proveniente de materiais retirados dos mananciais e que, por isso, devem ser devolvidos ao manancial.

O trabalho realizado para avaliar a situação atual do gerenciamento de lodo gerado nas ETAs de Mato Grosso do Sul permitiu concluir que:

1. Uma ETA gera mensalmente inúmeros dados e informações sobre seu sistema e cabe aos gestores da estação a utilização dos mesmos para que a empresa possa atingir seus objetivos e planejar metas em longo prazo. Obter muitos dados não garante que a empresa os empregue de forma a alcançar um tratamento mais adequado – redução de custos preservando a qualidade da água tratada. Contudo o mais preocupante é a escassez de dados;
2. Nenhuma das ETAS é compatível com a Lei 12.305/2010 (Política Nacional dos Resíduos Sólidos) onde deve ser priorizada a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Sendo o lodo um resíduo – e não um rejeito - ele deveria ter tratamento apropriado considerando o reuso e reciclagem como prioridades na gestão deste resíduo;
3. As ETAs diagnosticadas possuem poucos dados sobre o lodo, inclusive dados históricos, o que dificulta uma melhor discussão sobre o tema e admite a pouca consideração sobre o assunto;
4. A ETA A produz anualmente 381.408 kg de lodo em seu decantador, a ETA B produz 674.583 kg/ano e a ETA C não sabe o volume do lodo produzido por ano. A ETA B possui vazão média anual menor e abastece menos habitantes que a A, porém gera mais lodo. Tal fato pode ser explicado pela poluição e assoreamento do manancial da mesma. As empresas precisam encarar que o lodo faz parte do processo de tratamento, não se deve ignorar sua geração. O fato de duas ETAs estimarem o volume de lodo por fórmula e uma ETA não saber o volume de lodo gerado é preocupante considerando que todas as estações estão situadas em municípios com boa estrutura. Esta realidade reflete no trabalho que os gestores das ETAs terão ao conciliar as leis ambientais com o gerenciamento do lodo para que a prática de gestão desse resíduo seja totalmente realizada;

5. Ausência padronização de unidades de medida e de apresentação de dados, inclusive na revisão da literatura correspondente;
6. O volume de água gasto na lavagem dos tanques – quando calculado - é feito com imprecisão. Não se tem o controle da perda de água;
7. Os dados sobre os sistemas nas três ETAs são compartimentados e em razão disso há a dificuldade, burocracia e demora dos responsáveis com as informações solicitadas;
8. É viável empregar mais de uma opção de destinação e disposição final do lodo em uma mesma ETA. Assim as opções podem se complementar e podem ser aplicadas em diferentes épocas do ano ou ao mesmo tempo, sendo escolhida através da quantidade e característica de lodo gerado. O aterro sanitário é uma alternativa de disposição final caso haja suspensão da opção – ou opções – escolhida (como a incorporação do lodo em cerâmica vermelha ou aplicação no solo, por exemplo);
9. As três ETAs não podem ser consideradas ecoeficientes na gestão do lodo segundo os princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

8. SUGESTÕES PARA FUTUROS ESTUDOS

Vários trabalhos podem ser realizados a partir deste tema em Mato Grosso do Sul, entre eles podem ser citados:

- Estudo de implantação de laboratório para caracterização do lodo e de equipamentos para desidratação do mesmo;
- Estudo de viabilidade quanto à mudança dos locais de captação – mananciais - visando como parâmetro o fator geração de resíduo;
- Estudo da proporção de aumento do número de habitantes e da quantidade de lodo gerado;
- Estudo sobre a qualidade da água bruta em função do volume de lodo gerado.

9. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (2004). **NBR 10.004: Classificação de resíduos sólidos**. ABNT, Rio de Janeiro, 48 p., 2004.

_____. **NBR-ISO 14001: Sistema de gestão ambiental: Especificações e diretrizes para uso**. ABNT, Rio de Janeiro, Brasil: 14 p., 1996.

ACHON, C. L. **Eco eficiência de sistemas de tratamento de água à luz dos conceitos da ISO 14.001**. 248 p. São Carlos – SP: USP, 2008. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-08012009-172718/pt-br.php>>. Acesso em: 19 maio 2015.

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. **Avaliação do uso da água em sistema de tratamento de água com proposta e uso de indicadores**. In: Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 19., Maceió – AL 2011. Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/I-169.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2015.

ACHON, C. L.; CORDEIRO, J. S. **Utilização de indicadores de desempenho para gerenciamento de sistemas de tratamento de água**. In: Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23., Campo Grande – MS, 2005. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/I-169.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2015.

ACHON, C. L.; SOARES, L. V.; MEGDA C. R. **Impactos ambientais provocados pelo lançamento in natura de lodos provenientes de estações de tratamento de água**. In: Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23., Campo Grande – MS, 2005. Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/I-020.pdf> >. Acesso em: 10 abr. 2015.

ADLER, E. (2002). **Drinking water sludges: overview in France in 2002. In: Management of wastes from drinking water treatment**. International Conference, Organised by The Chartered Institution of Water and Environmental Management, London, September, 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Disponível em: < <http://www.ana.gov.br/>>. Acesso em: 05 mai. 2015.

AGOSTINI, M.; KULAKOWSKI, M. P.; BREHM, F. A. **A influência da pluviometria na adição de lodo de estação de tratamento de água em cerâmica vermelha**. In: Anais do Fórum Nacional de Resíduos Sólidos, 5., São Leopoldo - RS, 2014. Disponível em: <http://www.5firs.institutoventuri.org.br/arquivo/download?ID_ARQUIVO=81>. Acesso em: 28 abr. 2015.

AHMAD, T.; AHMAD, K.; ALAM, M. **Sustainable management of water treatment sludge through 3 ‘R’ concept**. Journal of Cleaner Production, v. 124, p. 1-13, 2016.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA. **Handbook of Water treatment plant waste management**. Denver: American Water Works Association, 484 p., 1987.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA. **Criteria Development for Water Treatment Plant Residual Monofills**. AWWA Research Foundation and American Water Works Association, USA, 203 p., 1997.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION RESEARCH FOUNDATION – AWWARF. 1995. Disponível em: <<http://www.waterrf.org/Pages/Index3.aspx>>. Acesso em: 09 maio 2015

ANDRADE, P. S. **Avaliação do impacto ambiental da utilização de resíduos de estação de tratamento de água em indústrias de cerâmica vermelha: Estudo de caso**. 269 p. Campinas – SP: UNICAMP, 2005. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000418584>>. Acesso em: 06 abr. 2015.

ANDREOLI, C. V.; LEITE, B. Z. **Relação entre o consumo de produtos químicos e a qualidade da água distribuída em diversos sistemas de tratamento de água do Paraná**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, 2005. Anais: Rio de Janeiro, ABES, 2005.

ANDREOLI, C. V. **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final**. 273p., 1 Ed. ABES, Rio de Janeiro, 2001

ASSIS, L. R. **Avaliação do impacto em corpos d'água devido ao lançamento de resíduos de uma estação de tratamento de água de Juiz de Fora – MG**. 61 p. Juiz de Fora – MG: UFJF, 2014. Disponível em: <http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC_-_Let%C3%ADcia-Assis_-_2014.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2015.

BACHE, D. H.; PAPAVALOPOULOS, E. N. **Dewatering of alumino-humic sludge: Impacts of hydroxide**. Water Research, v. 37, p. 3289-3298, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004313540300174X>>. Acesso em: 22 abr. 2015.

BARBOSA, R. M.; POVINELLI, J.; ROCHA, O.; ESPÍNDOLA, E. L. G. **A Toxicidade de Despejos (lodos) de Estações de Tratamento de Água à daphnia similis (ceadocera, crustacea)**. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária, 27. Porto Alegre, 2001.

BARROSO, M. M. **Gerenciamento de Resíduos Gerados no Tratamento de Água. Rondônia: UNIR. Abr. 2009.** Disponível em: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:CcayThzvep4J:www.engenhariaambiental.unir.br/admin/prof/arq/Apostila_AulaGerenciamentoLodoETA.doc+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 23 abr. 2015.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 357** de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicado no Diário Oficial da União - DOU nº 053, de 18.03.2005, p. 58-63.

BRASIL. Fundação Nacional da Saúde – FUNASA. **Manual de Saneamento**. 4ª ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, FUNASA. 2006.

BRASIL (1997). **Lei Nº 9.433** de 08 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH. Brasília, DF, 1997.

BRASIL (1998). **Lei Nº 9.605** de 12 de fevereiro de 1998. Lei da Vida - Lei dos Crimes Ambientais. Brasília, DF, 1998.

BRASIL (2010). **Lei Nº 12.305** de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Congresso Nacional, Brasília, DF, 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n.º 2.914** de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Publicado no Diário Oficial da União, Seção 1, do dia 26 seguinte, página 266.

BRINK, N. C. P.; FREITAS, J. G.; FILHO, S. S. F. **Desaguamento Mecânico de Lodo de Estações de Tratamento de Esgoto em Conjunto com Lodos de Estação de Tratamento de Água**. In: Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental, 23., 2005. Campo Grande.

CAPANEMA, S. P. **Instrumentação e controle em uma estação de tratamento de água**. 97 p., Belo Horizonte – MG: Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 2004.

CAMPO GRANDE. Prefeitura Municipal de Campo Grande – MS. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano – SEMADUR. **Qualidade das águas superficiais de Campo Grande – MS: Relatório 2011, Córrego Limpo**.

CAMPO GRANDE. Prefeitura Municipal de Campo Grande – MS. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano – SEMADUR. **Qualidade das águas superficiais de Campo Grande – MS: Relatório 2012, Córrego Limpo**.

CAMPO GRANDE. Prefeitura Municipal de Campo Grande – MS. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano – SEMADUR. **Qualidade das águas superficiais de Campo Grande – MS: Relatório 2013, Córrego Limpo**.

CAPANEMA, S. P. **Instrumentação e controle em uma estação de tratamento de água**. 97 p., Belo Horizonte – MG: UFMG, 2004.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2015. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: 20 abr. 2015.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO – CODEN. 2016. Disponível em: <http://coden.com.br/noticias_integra.php?id=1388>. Acesso em 18 fev. 2016.

COMPANHIA PARANAENSE DE SANEAMENTO – SANEPAR. 2010. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/>>. Acesso em: 09. nov. 2015.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO – SABESP. 2002. Disponível em: <[http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/DF6C53CCF001D57A832573F00072C0DD/\\$File/sabesp_lodos_ETA.pdf](http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/DF6C53CCF001D57A832573F00072C0DD/$File/sabesp_lodos_ETA.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2015.

COUTO, V. M. P. **Desenvolvimento e caracterização de materiais cerâmicos derivados do processamento dos resíduos de ETA.** Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 120 p., 2011.

CORNWELL, D. A.; BISHOP, M. M.; GOULD, R. G.; VANDERMEYDEN, C. **Handbook of Water treatment plant waste management.** Denver: American Water Works Association, 484 p., 1987.

CORDEIRO, J. S. **Micro propriedades de lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de água.** In: Anais do Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 28., Cáncun, México, 2003. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/iii-014.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2015.

COSIN, S.; KOZIEVITCH, V. F. J.; SANTOS, P. S.; VALENZUELA-DÍAZ, F. R. **Estudo e caracterização de lodo de estação de tratamento de água visando sua utilização na produção de materiais cerâmicos.** In: Anais do Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável. Costão do Santinho – Florianópolis – SC, 2004.

DHARMAPPA, H. **Water treatment plant residuals management.** Water Science & Technology 01/1997; 35(8):45-56. DOI: 10.1016/S0273-1223(97)00150-9.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P.L. **Ensaio de tratabilidade de água e de resíduos gerados em estações de tratamento de água.** São Carlos: Rima, 2003.

FEITOSA, C. A. G.; CONSONI, A. J. **Análise de oportunidades de minimização da geração de lodo na Estação de Tratamento de Água Alto da Boa Vista, São Paulo.** INTERFACEHS – Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente, v.3, n.2, Seção Interfacehs2, abr./ agosto. 2008.

FERREIRA FILHO, S. S.; ALÉM SOBRINHO, P. **Considerações sobre o tratamento de despejos líquidos gerados em estações de tratamento de água.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. v.3, n.5, p.128 – 136. Rio de Janeiro, 1998.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS – FGV. **Metodologia para Elaboração de Diagnóstico Organizacional Aplicada ao Denatran – Ministério da Justiça.** Programa de Modernização do Poder Executivo Federal, 2002.

HEIKAL, M.; KHALIL, Kh. A.; EL-DIDAMONY, H. **Physico-chemical and surface characteristics of some granulated slag-fired drinking water sludge composite cement pastes.** HBRC Journal - Housing and Building National Research Center, v. 10, p. 73-81. 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1687404813000771>>. Acesso em: 23 fev. 2016.

HOPPEN, C.; PORTELLA, K. F.; JOUKOSKI, A.; BARON, O.; FRANCK, R.; SALES, A.; ANDREOLI, C.V.; PAULON, V. A. **Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação**

ambiental. Cerâmica, Jun. 2005, v. 51, n. 318, p. 85-95. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v51n318/25583.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Atlas de saneamento 2011**. Rio de Janeiro. 268 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades@**. 2015. Disponível em <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=500370>>. Acesso em 17 mai. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010.

JANUÁRIO, G. F.; FERREIRA FILHO, S. S. **Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da região metropolitana de São Paulo**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.12, n.2, p.117-126, 2007.

KATAYAMA, V. T. **Quantificação da produção de lodo de estação de tratamento de ciclo completo: Uma análise crítica**. 144 p., São Paulo: USP, 2014. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-19072013-161144/pt-br.php>>. Acesso em: 22 maio 2015.

KAWAMURA, S. **Integrated Design and Operation of Water Treatment Facilities**, Jhon Willey & Sons, Inc., 1991.

LOMBARDI, R. **Desempenho de reator anaeróbico de fluxo ascendente alimentado com lodo de estação de tratamento de água e esgoto sanitário**. 2009. Disponível em: <http://www.udc.edu.br/monografia/monoamb146.pdf>. Acesso em: 15 maio 2015.

LUNDIN, M.; LANDER, S.; MORRISON, G. M. **A set of indicators for the assessment of temporal variations in the sustainability of sanitary systems**. Water Science & Technology, v. 39, n. 5, p. 235-242, 1999.

MASI, S.; CANIANI, D.; MANCINI, I. M.; TRULLI, E. **Innovative reuse of drinking water sludge in geo-environmental applications**. Waste Management, v. 33, p. 1461-1468. Mar. 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X13000779>>. Acesso em 23 mar. 2016.

MARGEM, J. R. **Caracterização e incorporação de lodo de decantação de Estação de Tratamento de Água (ETA) em cerâmica vermelha**. 86 p., Campo dos Goytacazes/RJ: UENF, 2008. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Microsoft-Word-IGOR_doc.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2015.

MEGDA, C. R.; SOARES, L. V.; ACHON, C. L. **Propostas de aproveitamento de lodos gerados em ETAs**. In: Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 23., Campo Grande – MS, 2005. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/I-019.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2014.

MESSIAS, T. G. **Avaliação ecotoxicológica de lodo gerado por estação de tratamento de água.** 166 p. Piracicaba – SP:USP, 2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64135/tde-06082014-151425/pt-br.php>>. Acesso em: 16 maio 2015.

MINAS GERAIS – MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2009. Disponível em: <<https://www.mpmg.mp.br/>>. Acesso em: 10 abr. 2015.

OLIVEIRA, E. M. S. **Estudo da valorização e reciclagem de resíduo proveniente de estação de tratamento de águas em cerâmica vermelha.** 127 p., Campo dos Goytacazes – RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2004. Disponível em: http://uenf.br/Uenf/Downloads/PosMateriais_4043_1185370773.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2015.

ONU, Organização das Nações Unidas. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento de Recursos Hídricos – Água para um mundo sustentável- 2015.** Disponível em: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015ExecutiveSummary_POR_web.pdf>. Acesso em 17/03/2015.

PÁDUA, V. L. Introdução ao tratamento de água. In: HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006, Cap 12, p. 519 - 570.

PAIXÃO, L. C. C. **Aproveitamento de lodo de estação de tratamento de água em cerâmica vermelha.** 129 p. Ouro Preto – MG: REDEMAT (UFOP, CETEC, UEMG), 2005. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2843/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_%20AproveitamentoLodoEsta%C3%A7%C3%A3o.pdf> . Acesso em: 08 nov. 2014.

PARSEKIAN, M. P. S. **Análise e proposta de formas de gerenciamento de estações de tratamento de águas de abastecimento completo em cidades de porte médio do estado de São Paulo.** 191 p. São Carlos – SP: USP. 1998.

PEAASAR II/2007 - Plano Estratégico de Abastecimento de águas Residuais. Ed. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. 1ª ed., 2007.

PEIXOTO, G. J. **Avaliação da Aplicação de Lodo de ETA no Adensador de Lodo de uma ETE de Lodos Ativado.** Dissertação – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 2008.

PORRAS, A. C. **Uso de lodo de estação de tratamento de água e agregado reciclado miúdo na fabricação de elementos de alvenaria.** 213 P. Campinas – SP: UNICAMP, 2007. PROGRAMA DE PESQUISAS EM GERENCIAMENTO BÁSICO – PROSAB. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final.** ed. 01, 282 p. Rio de Janeiro, 2001.

REALI, M. A. P. **Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETAs.** In: REALI, M. A. P. (Coordenador). Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 240 p. 1999.

REIS, E. L. T. **Abordagem sistêmica do sistema de tratamento de água de Registro, São Paulo, com ênfase na avaliação do impacto do descarte dos resíduos na bacia hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape.** 191 p., São Paulo: IPEN/USP: 2006.

RIBEIRO, H. K. S. S. **Avaliação de desempenho ambiental em estações de tratamento de água.** 158 p. Distrito Federal: UnB, 2003.

RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estação de tratamento de água.** 01 ed., edit.: Edgard Blucher, 2001. 112 p. ISBN: 9788521202899.

ROSÁRIO, C. G. A. **Avaliação da disposição de lodo gerado numa estação de tratamento de água em reator anaeróbico de fluxo ascendente e manto de lodo (UASB).** 119 p. São Paulo: USP, 2007. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-03072007-174940/pt-br.php>>. Acesso em: 22 maio 2015.

SABBAG, M.G.; MORITA, D.M. **Incorporação de lodo de estações de tratamento de água em blocos cerâmicos.** In: Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – SILUBESA 10. Braga. In: Anais eletrônicos: APESB, APRH, ABIS, p. 1-15, 2002.

SABOGAL-PAZ, L. P.; DI-BERNARDO, L. **Aspectos conceituais relativos à seleção das tecnologias de tratamento e de disposição dos resíduos gerados nas estações de tratamento de água.** In: Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23., Campo Grande - MS, 2005. Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/I-040.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2015.

SARON, A.; LEITE V. M. B. **Quantificação de lodo em estação de tratamento de água.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21. 2001, João Pessoa. Anais ...Rio de Janeiro: ABES, 2001, p.1-11.

SARQUIS, A. B.; PIZZINATTO, N. K. **Modelo de diagnóstico mercadológico no setor de serviços.** In: Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração - ANPAD, 36., Rio de Janeiro -RJ, 2012. Disponível em: < http://www.anpad.org.br/admin/pdf/2012_MKT67.pdf>. Acesso em: 20 fev. de 2016.

SEBRAE/RJ - SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E MACRO EMPRESAS. **Manual de gerenciamento de resíduos: Guia de procedimento passo a passo,** 2 Ed. Rio de Janeiro, 2006.

SILVA, M. S.; DÖLL, M. M. R.; WIECHETECK, G. K. RODRIGUES, R. N. S.; OROSKI, F. I. **Estimativa da quantidade de lodo produzido no tratamento de água do tipo convencional e Actiflo® - comparação de metodologias.** In: Anais do Encontro de Engenharia e tecnologia dos campos gerais, 8., Ponta Grossa – PR, 2013.

SILVA, M. V. **Desenvolvimento de tijolos com incorporação de cinzas de carvão e lodo provenientes de estação de tratamento de água.** 132 p., São Paulo: IPEN/USP, 2011.

SIMPSON, A.; BURGESS, P.; COLEMAN, J. S. **The management of potable water treatment sludge: Present Situation in the UK.** Water and Environment Journal, v. 16, n. 4, p. 260-263, nov. 2002, Londres.

SKINNER R. J.; LEWIS J. G.; CARDIFF A.; ROAD A. **Testing iron water treatment sludge on grassland** .1992-1995, 1996.

SOARES, H. M.; MORGADO, A. F.; DANTAS, C. A. F.; PEREIRA, N. C.; CaMPREGHER, N. **Teste dos jarros**. Depto. de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos. Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2004.

SOUZA, F. R. **Estudo da eco-eficiência de argamassas e concretos reciclados com resíduos de estações de tratamento de água e de construções e demolições**. 108 p., São Paulo: UFSscar, 2006. Disponível em: < http://www.bdtd.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1032 >. Acesso em: 26 mar. 2015.

SOUZA, V. P.; TOLEDO, R.; HOLANDA, J. N. F.; VARGAS, H.; FARIA JR., R. T. **Análise dos gases poluentes liberados durante a queima de cerâmica vermelha incorporada com lodo de estação de tratamento de água**. Revista Cerâmica, Jul. 2008, v. 54, n. 331. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132008000300013&script=sci_arttext >. Acesso em: 27 jul. 2015.

SIMPSON, A.; BURGESS, P.; COLEMAN, S.J.M. **The management potable water treatment sludge: Present situation in UK**. London. 2002. p 263.

TARTARI, R. **Incorporação de lodo gerado na estação de tratamento de água tamanduá, como aditivo em massas para cerâmica vermelha**. 125 p. Toledo – PR: UNIOESTE, 2008.

TSUTIYA, M. T.; HIRATA, A. Y. **Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água do estado de São Paulo**. In: Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21., João Pessoa – PB, 2001. Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/brasil/i-025.pdf> >. Acesso em: 23 abr. 2015.

VERLICCHI, P.; MASOTTI, L. **Reuse of drinking water treatment plants sludges in agriculture: problems, perspectives and limitations**. In: Anais do International Conference on the FAO ESCORENA, 9., Ferrara, Itália, 2000.

WANG, N.; SHIH, C.; CHIUEH, P.; HUANG, Y. **Environmental Effects of Sewage Sludge Carbonization and Other Treatment Alternatives**. Energies, 2013, 6, 871-883; doi:10.3390/en6020871.

APÊNDICE A – Questionário

Este questionário faz parte do projeto de pesquisa em desenvolvimento pela Arquiteta e Urbanista Isadora Yule Queiroz de Oliveira como parte dos requisitos para obter o título de Mestre no **Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade** com a orientação do Prof. Dr. Odilar C. Rondon.

Assim sendo, este questionário destina-se a identificar a quantidade e gerenciamento do lodo gerado pelas estações de tratamento de água (ETA) em Mato Grosso do Sul. A sua participação é de extrema importância para o êxito do projeto e a identidade da empresa será mantida em sigilo.

Os dados obtidos serão de **utilização restrita** do Projeto de Pesquisa.

Isadora Yule Queiroz de Oliveira, Arquiteta e Urbanista

(67) 9281-4859

isadorayule@gmail.com

- 1) Tipo de administração (pública ou privada):
- 2) População abastecida:
- 3) Vazão média anual de operação (l/s):
- 4) Início de funcionamento da ETA:
- 5) Localização da ETA:
- 6) Área total da ETA e área total do terreno:
- 7) Possui alguma certificação ambiental?
- 8) Possui sistematização de dados? As informações e dados gerados são disponibilizados para a população?
- 9) Qual o coagulante utilizado? Qual a forma de aplicação dos produtos químicos (manual ou mecanizada)?
- 10) Como é feito o controle de dosagem do coagulante?
- 11) Qual produto usado na correção do pH da água bruta e da água final?
- 12) São usados produtos auxiliares? Quais?
- 13) Qual é a tecnologia de tratamento empregada? (Tratamento completo – convencional – ou filtração direta)
- 14) É feito o monitoramento da qualidade da água bruta?
- 15) A empresa possui laboratórios próprios? As análises são feitas no laboratório da empresa?

- 16) Tem lançamento de esgoto à montante de captação?
- 17) Possui programa de conservação de mananciais? Caso afirmativo, qual o nome do programa?
- 18) Tipo de água utilizada na lavagem dos decantadores:
- Indicador a): utiliza água tratada para lavagem.
 - Indicador b): utiliza água decantada para lavagem.
 - Indicador c): utiliza água bruta para lavagem.
- 19) Volume anual de lodo gerado (m^3):
- 20) Área total dos decantadores (m^2) (ou, se possível, passar as dimensões dos decantadores):
- 21) Porcentagem do lodo reutilizado após o tratamento:
- 22) Possui unidade de tratamento de resíduos?
- 23) Destino final do lodo gerado? É analisado em laboratório para saber suas características químicas e físicas?
- 24) Frequência de limpeza dos decantadores:
- 25) Limpeza dos decantadores é manual ou mecânica?
- 26) Tipo de fundo do decantador:
- 27) Volume anual de água usada em lavagens dos filtros (m^3):
- 28) Área total dos filtros (m^2) (ou, se possível, passar as dimensões dos filtros):
- 29) Indicadores de tratamento de lodo:
- Indicador a): o volume gerado não é tratado;
 - Indicador b): o volume gerado é parcialmente tratado;
 - Indicador c): o volume gerado é tratado
- 30) Indicadores de tratamento de água de lavagem de filtros:
- Indicador a): o volume gerado não é tratado;
 - Indicador b): o volume gerado é parcialmente tratado;
 - Indicador c): o volume gerado é tratado
- 31) Possui controle de perdas de água? Como as perdas são medidas?
- 32) Possui medidores de vazão na entrada e na saída da estação? (tipo de medidor)
- 33) Volume de água perdido (diferença entre volume medido na saída e na entrada da ETA):
- 34) Volume de água de lavagem dos filtros reutilizada ou reciclada após o tratamento:
- 35) Como é feito o controle de quantidade de água utilizada nas lavagens de filtros?

36) Eficiência do controle de quantidade de lodo gerado.

- Indicador a): representa baixa eficiência do controle da quantidade de lodo gerado nos decantadores, ou seja, o volume de lodo gerado não é medido ou considera-se apenas o volume do decantador.
- Indicador b): representa média eficiência do controle da quantidade de lodo gerado nos decantadores, ou seja, o volume de lodo gerado é estimado.
- Indicador c): representa alta eficiência do controle da quantidade de lodo gerado nos decantadores, ou seja, o volume de lodo gerado é medido.

37) Eficiência do controle de quantidade de água utilizada nas lavagens dos filtros.

- Indicador a): representa baixa eficiência do controle da quantidade de água utilizada na lavagem dos filtros, ou seja, o volume de água utilizada na lavagem dos filtros , não é medido, apenas considera-se o volume calculado através de uma porcentagem fixa.
- Indicador b): representa média eficiência do controle da quantidade de água utilizada na lavagem dos filtros, ou seja, o volume de água utilizada na lavagem dos filtros , é estimado através de uma média.
- Indicador c): representa alta eficiência do controle da quantidade de água utilizada na lavagem dos filtros, ou seja, o volume de água utilizada na lavagem dos filtros , é medido.

ANEXO A – Fórmulas para quantificação de lodo gerado em ETA

- *Water Research Center - WRC (1979)*

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

P= produção de sólidos (g de matéria seca / m³ de água tratada)

T= turbidez da água bruta (UT)

C= cor aparente da água bruta (uH)

D= dosagem de coagulante (mg/L)

k= coeficiente de precipitação:

k = 0,26 (sulfato de alumínio líquido)

k = 0,66 (cloreto férrico anidro)

k = 0,81 (sulfato férrico)

A= outros aditivos, como carvão ativado em pó e polieletrólitos (mg/L)

- *American Water Work Association - AWWA (1987)*

$$P = 3,5 \times 10^{-3} \times T^{0,66} \quad (2)$$

$$W = 86400 \times P \times Q$$

P – Produção de sólidos (kg de matéria seca / m³de água bruta tratada)

T – Turbidez da água bruta

W – Quantidade de sólidos secos (kg/dia)

Q – Vazão de água bruta tratada (m³/ s)

- *Association Francaise Pour L'etude Des Eaux – AFEE (1982)*

$$SS = 1,2 \times \text{Turbidez (uT) da água bruta} \quad (3)$$

C = Cor aparente da água bruta (uC)

H = Cte de precipitação para o sulfato de alumínio (0,17) x Dos. Coag. (mg/L)

Tem-se:

$$P = (1,2 \times T + 0,07 \times C + 0,17 \times D + A) \times 10^{-3} \quad (1.5)$$

$$W = 86400 \times P \times Q$$

P – Produção de sólidos (kg de matéria seca / m³de água bruta tratada)

T – Turbidez da água bruta (uT)

C – Cor aparente da água bruta (uC)

D – Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)

A – Outros aditivos, tal como o polímero (mg/L)

- *CETESB (apud Saron e Leite, 2001).*

$$P = (0,23 \times AS + 1,5 \times T) \times 10^{-3} \quad (4)$$

$$W = 86400 \times P \times Q$$

P – Produção de sólidos (kg de matéria seca / m³ de água bruta tratada)

AS – Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)

T – Turbidez da água bruta

W – Quantidade de sólidos secos (kg/dia)

Q – Vazão de água bruta tratada (m³/s)

- *CORNWELL (apud Saron e Leite, 2001).*

$$W = 0,0864 \times Q \times (0,44 \times D + 1,5 \times T + A) \quad (5)$$

W = Quantidade de lodo (kg/d)

Q = Vazão de adução de água (l/s)

D = Dosagem de sulfato de alumínio (mg/l)

T = Turbidez da água bruta

A = Dosagem de outros produtos adicionados (mg/l)

- *KAWAMURA (1991)*

$$P = (D \times Fc1) + (T \times Fc2) \quad (6)$$

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

D – Dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)

Fc1 – Fator que depende do número de moléculas de água associadas a cada molécula de sulfato de alumínio (usualmente varia entre 0,23 a 0,26)

Fc2 – Razão entre a concentração de sólidos suspensos totais presentes na água bruta e turbidez da mesma (geralmente na faixa de 1,0 a 2,0).

Bernardo (2009) afirma que a quantidade de lodo gerado pode ser estimado através da equação:

$$P_{ss} = Q (0,44 \times DA1 + SST + D_p + DCAP + 0,1 \times D_{cal}) \times 10^{-3} \quad (1.9)$$

P_{ss} – Produção de SST (kg/dia)

Q – Vazão de água bruta (m³/dia)

DAI – Dosagem de coagulante (mg/L)

SST – Concentração de sólidos suspensos totais na água bruta (mg/L)

Dp – Dosagem de polímero seco (mg/L)

DCAP – Dosagem de carvão ativado pulverizado (mg/L)

Dcal – Dosagem de cal hidratada(mg/L).

$SST = 1,5 \times \text{Turbidez}$

Logo se reescreve a equação da seguinte forma:

$Pss = Q (0,44 \times DAI + 1,5 \times \text{Turb} + Dp + DCAP + 0,1 \times Dcal) \times 10^{-3}$