

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**

**ESPECIALIZAÇÃO EM SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE**

**REAPROVEITAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DO LODO DE  
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO DA  
ETA DE ITAGUARA – MINAS GERAIS**

**Fernanda de Cássia Oliveira**

**Belo Horizonte**

2011

**Reaproveitamento e Disposição Final do lodo de Estações de  
Tratamento de Água: Estudo de Caso da ETA de Itaguara – Minas  
Gerais**

**Fernanda de Cássia Oliveira**

**Fernanda de Cássia Oliveira**

**Reaproveitamento e Disposição Final do lodo de Estações de  
Tratamento de Água: Estudo de Caso da ETA de Itaguara – Minas  
Gerais**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Saneamento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Saneamento e Meio Ambiente.

Área de concentração: Tratamento de Águas de Abastecimento e Residuárias.

Orientador: Valter Lúcio de Pádua

Co-orientador: Hygor Aristides Victor Rossoni

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2011



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

**Curso de Especialização em Saneamento e Meio Ambiente**

Av. Contorno, 842, 7º andar cep 30110-060 Belo Horizonte – MG – Brasil

Tel: 55 (31) 2338-1882 Fax 55 (31) 3238-1882 especial@desa.ufmg.br

www.desa.ufmg.br/espec

---

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Reaproveitamento e Disposição Final do lodo de Estações de Tratamento de Água:  
Estudo de Caso da ETA de Itaguara – Minas Gerais

**FERNANDA DE CÁSSIA OLIVEIRA**

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos senhores:

---

Prof. Marcelo Libânio

---

Prof. Fábio Bianchetti

---

Prof. Valter Lúcio de Pádua - orientador

---

Prof. Gilberto Caldeira Bandeira de Melo  
Coordenador do Curso de Especialização  
Em Saneamento e Meio Ambiente DESA UFMG

Belo Horizonte, 21 de Dezembro de 2011

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por ter me dado forças de poder concluir mais uma etapa da minha vida.

Ao meu marido, por todo incentivo, força e companheirismo nesta jornada.

A minha amada mamãe por todo incentivo e amor.

Agradeço em especial ao professor Valter e ao professor Hygor por todo apoio, conhecimento transferido, confiança, incentivo, amizade e atenção dedicada ao longo de todo o ano.

A equipe da Estação de Tratamento de Água de Itaguara, que disponibilizou a coleta do lodo para análise e forneceu os dados da estação.

A equipe do laboratório de físico – química do DESA por toda ajuda, em especial a Olivia e a Norma.

Aos laboratórios de Instrumentação de Metal, Microbiologia de água e ao laboratório do departamento de metalurgia e materiais.

Aos meus amigos e familiares, agradeço por entender que minha ausência foi necessária para concretização de mais um sonho.

## RESUMO

A produção de água para abastecimento público, realizada pela Estação de Tratamento de Água de Itaguara, é responsável pela geração de lodo, originado na remoção das partículas em suspensão na água bruta, com a utilização de coagulantes, mediante processos de decantação e filtração.

Atualmente, o destino do lodo acumulado nos decantadores é o Córrego Conquista, onde é lançado sem que nenhum tratamento seja realizado. Esta disposição vem se tornando uma preocupação constante em vista dos efeitos negativos proporcionados ao meio ambiente quando estes são dispostos de maneira inadequada.

O objetivo deste trabalho foi verificar, por meio da caracterização do lodo e da estimativa do volume de lodo produzido na estação, a viabilidade do reaproveitamento e disposição final dos resíduos.

Foi possível constatar que a produção de lodo na estação de Itaguara, está sofrendo com a falta de monitoramento da dose de coagulante aplicada, levando a uma maior produção de lodo nos decantadores. Com base nos teores de metais encontrados no lodo, seu reaproveitamento se torna viável na recuperação de áreas degradadas, na fabricação de cerâmica vermelha e como cobertura diária de aterros sanitários.

**Palavra chave:** Reaproveitamento do lodo ETA; disposição final; produção de lodo

## ABSTRACT

The production of water for public supply, conducted by Station Water Treatment Itaguara is responsible for the generation of sludge, originated in the removal of suspended particles in raw water with the use of coagulants, by processes of sedimentation and filtration.

Currently, the fate of the sludge accumulated in the decanter the Stream Conquista, which is released without any treatment is performed. This provision has become a constant concern in view of the negative effects to the environment provided when they are disposed of improperly.

The objective of this study was to assess the feasibility of recycling and final disposal of waste through a characterization of the sludge and the estimated volume of sludge produced at the station.

It was found that the sludge production in Itaguara station, is suffering from a lack of monitoring of coagulant dose applied, producing a greater load of silt. Considering the concentration of metals found in sludge, its reuse becomes feasible in the recovery of degraded area and as daily cover for landfills.

**Keywords:** Reuse of sludge water, sludge disposal, sludge production.

## LISTA DE ABREVIATURA E SÍMBOLOS

AWWA - American Water Works Association

CERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

COT – Carbono Orgânico Total

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETA – Estação de Tratamento de Água

EUA – Estados Unidos da América

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

km<sup>2</sup> – quilômetro quadrado

LETA = lodo estação de tratamento de água

MG – Minas Gerais

MPa – mega Pascoal

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

PR - Paraná

Q<sub>7,10</sub> – Vazão mínima de 10 anos de recorrência e 7 dias de duração

Rpm – Rotação por minuto

SAAE – Sistema Autônomo de Água e Esgoto

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná

SP – São Paulo

SST – Sólidos suspensos totais

UTR – Unidade de Tratamento de Resíduos

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1</b> Tipo de tratamento existente no abastecimento de água em Minas Gerais .....	07
<b>Figura 3.2</b> Estações geradoras de lodo no processo de tratamento de água na região sudeste do Brasil .....	08
<b>Figura 3.3</b> Destinação final do lodo gerado no processo de tratamento de água em Minas Gerais .....	09
<b>Figura 3.4</b> Fluxograma do tratamento do lodo na unidade de tratamento de resíduos .....	13
<b>Figura 3.5</b> Sistema de leito de secagem tradicional .....	19
<b>Figura 3.6</b> <i>Bags</i> horizontal de <i>geotube</i> .....	21
<b>Figura 3.7</b> Esquema de filtro prensa de esteira .....	23
<b>Figura 3.8</b> Prensa desaguadora .....	24
<b>Figura 3.9</b> Representação do filtro prensa de placas .....	26
<b>Figura 3.10</b> Centrífuga decantadora – separação sólido – líquido .....	28
<b>Figura 4.1</b> Captação de água no Córrego Cambindas .....	40
<b>Figura 4.2</b> Captação de água no Córrego Mato Dentro .....	40
<b>Figura 4.3</b> Vista da estação de tratamento de água de Itaguara .....	41
<b>Figura 5.1</b> Coleta do lodo no decantador .....	42
<b>Figura 5.2</b> Sedimentação do lodo do decantador da estação de Itaguara .....	43
<b>Figura 5.3</b> Digestão da amostra de lodo em chapa .....	46
<b>Figura 5.4</b> Coluna de filtração para leitura de metais .....	46
<b>Figura 6.1</b> Produção máxima, média e mínima de lodo nos decantadores ao longo do ano .....	49
<b>Figura 6.2</b> Estimativa da geração de lodo no decantador conforme a turbidez da água bruta.....	50
<b>Figura 6.3</b> Estimativa da produção do lodo com base na dose de coagulante aplicada.....	51
<b>Figura 6.4</b> Teor de ferro ao longo das unidades da estação de Itaguara ..	55

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b> Grandes regiões com serviço de abastecimento de água por rede geral de distribuição e por tipo de tratamento da água distribuída .....	05
<b>Tabela 3.2</b> Regiões federativas com geração de lodo no processo de tratamento da água por destino do lodo gerado .....	06
<b>Tabela 3.3</b> Tipo de captação para o serviço de abastecimento de água em Minas Gerais .....	07
<b>Tabela 3.4</b> Características gerais do lodo gerado em ETAs que utilizam de sulfato de alumínio como coagulante .....	10
<b>Tabela 3.5</b> Características típicas de lodos gerados em ETAs que utilizam de sais de ferro como coagulante .....	11
<b>Tabela 6.1</b> Dados fornecidos pelo SAAE de Itaguara .....	48
<b>Tabela 6.2</b> Estimativa da produção de lodo .....	49
<b>Tabela 6.3</b> Teor de umidade presente no lodo .....	52
<b>Tabela 6.4</b> Níveis de metais na água livre e na massa de sólidos que constituem o lodo do decantador.....	53
<b>Tabela 6.5</b> Características do lodo comparado aos padrões de lançamento COPAM/CERH 01 .....	54
<b>Tabela 6.6</b> Características dos níveis de metal presente no lodo, comparando com os dados da CETESB .....	57

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVEATURAS E SIMBOLOS</b>	IV
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	VI
<b>LISTA DE TABELAS</b>	VII
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	01
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	03
<b>2.1 Objetivo geral</b> .....	03
<b>2.2 Objetivo específico</b> .....	03
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	04
<b>3.1 Gerações de lodo em ETAs</b> .....	04
<b>3.2 Produção de lodo em ETAs no Brasil</b> .....	05
<b>3.3 Características Gerais do Lodo</b> .....	10
<b>3.4 Tratabilidade do lodo de ETA</b> .....	12
<b>3.4.1 Adensamento</b> .....	13
<b>3.4.2 Condicionamento</b> .....	16
<b>3.4.3 Desidratação ou desaguamento</b> .....	16
3.4.3.1 Desidratação não mecânica .....	17
3.4.3.2 Desidratação mecânica .....	21
3.4.3.2.1 Filtro a vácuo .....	22
3.4.3.2.2 Filtro prensa de esteira ou Prensa desaguadora ..	23
3.4.3.2.3 Filtro prensa de placas .....	25
3.4.3.2.4 Centrífugas .....	26
<b>3.5 Disposição final e reuso do lodo</b> .....	28
<b>3.5.1 Disposição em corpo d'água</b> .....	29
<b>3.5.2 Aterro sanitário</b> .....	30
<b>3.5.3 Utilização na composição de matéria prima da construção</b>	
civil .....	31
<b>3.5.4 Recuperação de coagulante</b> .....	35
<b>3.5.5 Recuperação de área degradada</b> .....	37
<b>4 ESTUDO DE CASO</b> .....	40
<b>4.1 Descrição do Manancial de Abastecimento</b> .....	40
<b>4.2 Descrição do processo de produção na estação de</b>	
<b>tratamento de água, SAAE – Itaguara</b> .....	41
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	43
<b>5.1 Procedimento de coleta das amostras</b> .....	43
<b>5.2 Caracterização físico-química do lodo</b> .....	44
<b>5.2.1 Teor de sólidos sedimentáveis</b> .....	44
<b>5.2.2 Teor de umidade da amostra real e concentração da</b>	
<b>amostra</b> .....	45
<b>5.2.3 Centrifugação da amostra</b> .....	45
5.2.3.1 Análise do sobrenadante .....	46
5.2.3.2 Análise do sólido .....	46
<b>5.3 Estimativa da Produção de Lodo</b> .....	47

<b>6 RESULTADO E DISCUSSÃO</b> .....	49
<b>6.1 Estimativa da produção de lodo</b> .....	49
<b>6.2 Análise dos níveis de metais</b> .....	53
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	59
<b>8 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA</b> .....	60

# 1 INTRODUÇÃO

O controle da poluição das águas é essencial para a saúde da população humana, assim como para o meio em que essa se insere. Uma importante questão ambiental que vem sendo pesquisada atualmente, e um dos principais problemas enfrentados pelos grandes centros urbanos, é o processo de disposição final para o lodo gerado as estações de tratamento de água (ETA).

O abastecimento de água se torna cada vez mais centrado na qualidade do produto a ser distribuído para a população. No entanto, com a deterioração da qualidade da água bruta, a busca por mananciais mais distantes dos centros poluidores e os gastos com produtos químicos são necessários para garantir um eficiente tratamento, que visa atender aos padrões de potabilidade.

Com o incremento populacional vem aumentando o consumo de água potável, sendo necessário o tratamento de uma maior vazão de água para suprir toda a demanda da população. Com a deterioração da qualidade da água, torna-se necessário o uso de coagulantes para garantir que a água tratada atenda aos padrões de potabilidade da Portaria 2.914/2011, levando a um aumento da geração de lodo dentro da estação, principalmente provenientes dos decantadores e da água de lavagem dos filtros.

Os lodos possuem características variadas, dependendo fundamentalmente das condições apresentadas pela água bruta, da dose e tipo de produtos químicos utilizados, e da forma de limpeza dos decantadores. Com a produção de uma grande quantidade de resíduos, as estações de tratamento de água precisam dispor de forma correta todo o lodo para atender a legislação ambiental.

No Brasil, a maior parte das estações lançam seus resíduos sem nenhuma forma de tratamento diretamente no corpo d'água mais próximo à estação, ocasionando assoreamento e deterioração da qualidade da água dos rios e lagos.

Atualmente é necessário fazer novas buscas por tecnologias de tratamento do lodo e determinar formas diferenciadas de disposição, de maneira a causar o menor impacto possível no meio ambiente e atender as legislações ambientais.

A grande preocupação em dispor corretamente o lodo das ETA está na presença de metais na composição desse resíduo e no aumento do volume de chorume gerado durante o processo de degradação quando o lodo é disposto em aterros sanitários, contribuindo para a geração de impactos adversos ao meio ambiente (água, solo, flora e fauna) e à saúde da população, quando depositados de forma inadequada (FONTES, 2008).

Muito se tem estudado sobre as alternativas de disposição o lodo de ETA, como: insumo na agricultura, disposição em aterro sanitário, incineração, uso na fabricação de cerâmica, recuperação de área degradada e recuperação do coagulante. No entanto, ainda existem lacunas sobre a melhor maneira de dispor estes resíduos, de forma que cause o menor impacto ambiental possível, devido às diversas características do lodo gerado.

## **2 OBJETIVOS**

### ***2.1 Objetivo geral***

Estudar alternativas para o reaproveitamento do lodo da estação de tratamento de água (ETA) de Itaguara.

Para que o principal objetivo seja alcançado, torna-se necessário estabelecer também alguns objetivos específicos.

### ***2.2 Objetivos específicos***

- Realizar um levantamento bibliográfico sobre os principais processos empregados no reuso, tratamento e disposição final do lodo de ETA.
- Caracterizar qualitativa e quantitativa o lodo da ETA de Itaguara, visando propor alternativas de tratamento, reaproveitamento e disposição final.

## **3 REVISÃO DE LITERATURA**

### ***3.1 Gerações de lodo em ETA***

Nas estações prestadoras de serviço onde é feito o tratamento da água por processos completos ou tradicionais (clarificação, filtração e desinfecção), são utilizados produtos químicos (geralmente sais de alumínio e ferro) para desestabilizar os colóides e formar flocos com tamanho suficiente para posterior remoção nos decantadores (REALI, 1999).

De acordo Fontana (2004), o lodo é gerado de duas maneiras. A primeira devido à sedimentação dos flocos que ocorre nos decantadores, onde ficam retidos por dias ou até meses, de acordo com o sistema de descarga. E a outra forma de produção de lodo é devido à parte dos flocos que não se sedimentaram nos decantadores, e que seguem para a etapa de filtração, onde são retidos. Durante a limpeza dos decantadores, por processos mecanizados ou manuais, e dos filtros por lavagem, o lodo é removido e encaminhado para o processo de desidratação e disposição. Assim, a geração do lodo ocorre nos decantadores e na lavagem dos filtros.

Segundo Ferreira Filho (1997), as maiores quantidades de resíduo gerado provêm da lavagem dos filtros, em termos volumétricos. Em termos mássicos, a maior quantidade de lodo produzido é proveniente do sistema de separação sólido-líquido que, em uma estação convencional, é basicamente efetuada em decantadores convencionais de escoamento horizontal ou nos decantadores de alta taxa.

### ***3.2 Produção de lodo em ETA no Brasil***

Com base no censo de 2008 realizado pelo IBGE, através da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, o Brasil possui 5564 municípios, destes, 5531 possuem serviços de abastecimento de água por rede geral de distribuição, e 2817 municípios tratam a água por sistema convencional, conforme representado pela Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Grandes regiões com serviço de abastecimento de água por rede geral de distribuição e por tipo de tratamento da água distribuída

Grandes Regiões	Municípios							
	Total	Com serviço de abastecimento de água por rede geral de distribuição						
		Total	Com existência de tratamento de água			Fluoretação adicional	Totalmente com água sem tratamento	
			Total	Tipo de tratamento				
		Convencional	Não Convencional	Simples desinfecção				
Brasil	5564	5531	5166	2817	560	3005	3351	365
Norte	449	442	350	104	43	227	45	92
Nordeste	1793	1772	1632	851	338	806	576	140
Sudeste	1668	1668	1598	1087	55	918	1433	70
MG	853	853	784	612	28	339	694	69
Sul	1188	1185	1147	545	75	799	1043	38
Centro - oeste	466	464	439	230	49	255	254	25

Fonte: IBGE - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.

Nota: O município pode apresentar mais de um tipo de tratamento na água distribuída.

Em Minas Gerais, dos 853 municípios existentes, todos possuem sistema de abastecimento de água por rede geral de distribuição, sendo que 784 possuem abastecimento com água tratada e em 69 municípios não há nenhuma forma de tratamento da água de abastecimento.

Em se tratando de produção de água em termos de volume, o Brasil trata em média, 39. 282. 607 m<sup>3</sup>/d de água, de acordo com o censo do IBGE (2008).

De acordo com o mesmo censo (IBGE, 2008), 2098 municípios possuem estações de tratamento de água com geração de lodo, sendo que 1415 municípios ainda lançam o lodo da ETA em rios. Na Tabela 3.2, são apresentadas informações sobre a geração e o destino do lodo nas ETAs no Brasil.

Tabela 3.2 – Regiões federativas com geração de lodo no processo de tratamento da água por destino do lodo gerado

Região	Municípios									Não há geração de lodo
	Total	Com geração de lodo no processo de tratamento de água								
		Total	Destino do lodo gerado							
			Rio	Mar	Terreno	Aterro sanitário	Inciner- ração	Reaprovei- tamento	Outro	
Brasil	5564	2098	1415	7	463	83	1	50	247	1264
Nordeste	1793	537	231	5	261	14	1	24	61	462
Norte	449	84	46	-	14	2	-	3	23	123
Centro Oeste	466	139	105	-	24	3	-	2	15	162
Sudeste	1668	896	703	-	105	53	-	10	94	297
Sul	1188	442	330	2	59	11	-	11	54	220

Fonte: IBGE - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.

Nota: O município pode dar mais de um destino ao lodo gerado no processo de tratamento da água

Por meio da Tabela 3.2 é possível afirmar que 1.422 estações não tratam os resíduos gerados, lançando-os em rios ou no mar, correspondendo a 66,77% do total das estações brasileiras. Porém, não é possível determinar quantas estações tratam o lodo antes de dispô-lo no solo, em aterros, em processos de incineração ou para o reaproveitamento.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2008) dos 11.377.991 metros cúbicos de água tratada por dia no estado de Minas Gerais, o tratamento convencional está presente em 82,38%. Já em termos de captação da água para o tratamento, é verificado o emprego de diferentes formas, sendo que um mesmo município pode apresentar mais de um tipo de captação de água, conforme Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Tipo de captação para o serviço de abastecimento de água em Minas Gerais

Superficial	Poço raso	Poço profundo	Outro
684	77	526	15

Fonte: IBGE - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008.

Os métodos de tratamento da água nos municípios para o abastecimento da população dentro do estado de Minas Gerais ocorre da seguinte forma e proporção, conforme Figura 3.1.

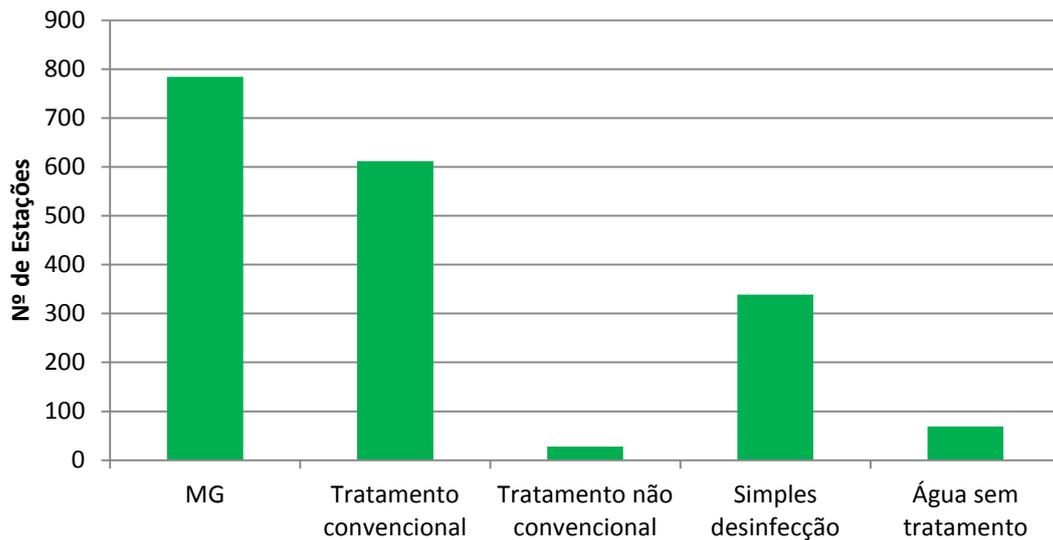


FIGURA 3. 1: Tipo de tratamento existente no abastecimento de água em Minas Gerais  
Fonte: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, IBGE 2008.

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2008), Minas Gerais se destaca por se o estado brasileiro com o maior número de estações de tratamento de água com geração de lodo, 514 estações, seguido por São Paulo (249 estações), Bahia, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Paraná, Paraíba e Goiás, conforme está demonstrado na Figura 3.2. Vale ressaltar no entanto, que apesar de possuir um menor número de estações, São Paulo trata um maior volume de água em suas estações, ocasionando com isto, uma maior produção de lodo.

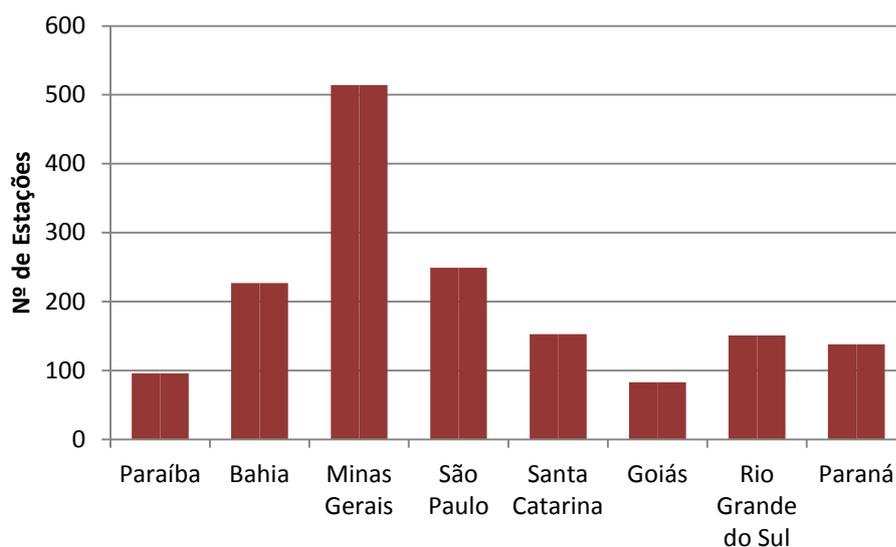


Figura 3.2: Estações geradoras de lodo no processo de tratamento de água no Brasil.

Fonte: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, IBGE 2008.

Deste modo, de todo o lodo gerado em Minas Gerais (MG), a destinação final do mesmo ocorre em proporções bem distintas, conforme a Figura 3.3, sendo que no Estado de MG 206 municípios não possuem a geração de lodo no processo de tratamento, por tratar a água com processos simplificados – apenas desinfecção da água –, ou por não terem tratamento de água.

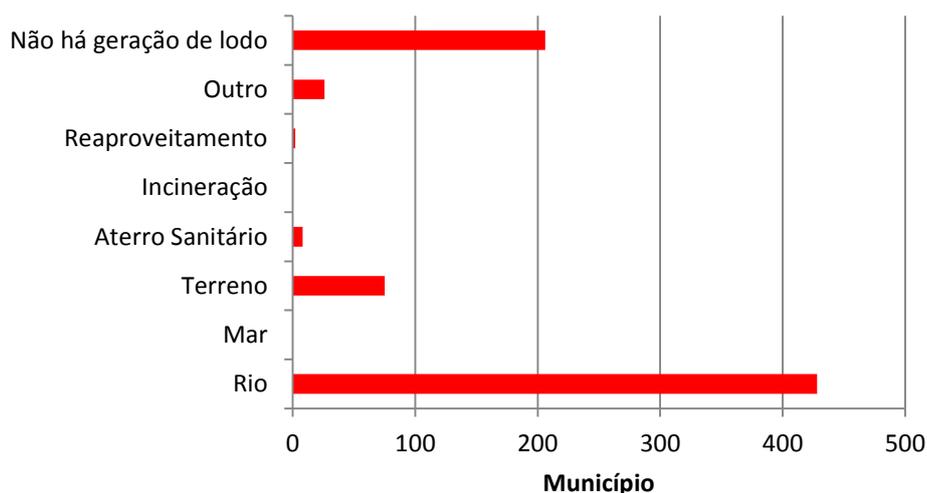


Figura 3.3: Destinação final do lodo gerado no processo de tratamento de água em Minas Gerais

Fonte: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, IBGE, 2008.

Com base na Figura 3.3, é possível perceber que atualmente a principal destinação do lodo de ETA são os corpos de água, totalizando 428 estações no Estado, sendo muitas vezes lançado sem nenhum tipo de tratamento, causando inúmeros problemas ambientais.

Apesar de existir legislação ambiental no Estado, DN conjunta COPAM/CERH nº.01 (MINAS GERAIS, 2008) que estabelece normas e padrões para qualidade das águas e lançamento de efluentes, a falta de fiscalização efetiva faz com que pouca importância venha sendo dada ao resíduo gerado e à forma de descarte.

Por serem geradoras de resíduos, as prestadoras de serviços de abastecimento de água são consideradas como indústrias e, portanto são enquadrados pela NBR 10004/2004 como geradoras de “resíduos sólidos,” devendo se preocupar com a forma de tratar e dispor o lodo de acordo com os critérios estabelecidos pelos órgãos de fiscalização ambiental.

### **3.3 Características Gerais do Lodo**

De um modo geral, considera-se como lodo de uma estação de tratamento de água o resíduo constituído de água e sólidos suspensos originalmente contidos na fonte de água, acrescidos de produtos resultantes aplicados à água nos processos de tratamento (RICHTER, 2001). Portanto, um dos aspectos mais importantes no *layout* de uma estação de tratamento de água são as características do manancial, as quais influem na escolha da tecnologia a ser usada no tratamento e na dose e tipo de produtos químicos, os quais dão origem aos resíduos com diferentes características (ROSARIO, 2007).

No Brasil, a maioria dos sistemas de tratamento de água em operação é do tipo convencional, com processos de coagulação, floculação, decantação e filtração. Assim, nestas estações as duas principais fontes de geração de resíduos são os decantadores e a água de lavagem dos filtros.

Conforme Richter (2001), a composição dos lodos provenientes de estações que utilizam sulfato de alumínio como coagulante, apresenta uma pequena proporção de biodegradabilidade e suas características principais estão representadas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Características gerais do lodo gerado em ETAs que utilizam sulfato de alumínio como coagulante

<b>Sólidos Totais (%)</b>	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.5H<sub>2</sub>O (%)</b>	<b>Inorgânicos (%)</b>	<b>Matéria Orgânica (%)</b>	<b>pH</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>DQO (mg/L)</b>
0,1 – 4	15 - 40	35 - 70	15 – 25	6 - 8	30 – 300	30 – 5.000

Fonte: Richter 2001 p.4

Richter (2001) destaca que a aparência do lodo varia em função da sua concentração de sólidos. Para concentrações de 0 – 5%: aparência líquida; 8 – 12%: esponjoso ou semi-sólido; e para 18 – 25%: argila ou barro suave. A sedimentabilidade destes lodos é alta, porém, possui baixa compactação, resultando em grande volume de lodo com baixo teor de sólidos.

Para lodos advindos de estações que utilizam como coagulantes sais de ferro a característica dos lodos encontra-se apresentada na Tabela 3.5.

Tabela 3.5: Características típicas de lodos geradas em ETAs que utilizam sais de ferro como coagulante

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

Fonte: Richter 2001 p.6

Os lodos compostos de sais de ferros apresentam coloração marrom-avermelhada, e como o sulfato de alumínio, apresenta dificuldade de decantação e flotação ou sedimentação natural, necessitando de adição de polímeros para que a decantação ocorra (REALI, 1999).

Segundo Andreoli *et al.* (2001) a quantidade de lodo produzida em uma ETA dependerá de fatores como: concentração de partículas presentes na água bruta; dose de produtos químicos aplicados ao tratamento; tempo de permanência do lodo

nos decantadores; forma de limpeza dos mesmos; eficiência da sedimentação.

De acordo com Kerber (2008) o lodo é composto em sua fase sólida basicamente de partículas de solo, matéria orgânica, metais na água *in natura* e substâncias geradas na adição de produtos químicos. Igualmente Mendes *et al.* (2001) destacam que o lodo é composto de argilas, siltes, areia fina, material húmico e microrganismos, como também de produtos provenientes do processo de coagulação. Andreoli (2001), classifica o lodo como basicamente líquido, possuindo uma concentração de sólidos em suspensão entre 0,004 e 4,0%, o que representa 0,2 e 5,0% do volume de água tratada.

### **3.4 Tratabilidade do lodo de ETA**

A procura por soluções para minimizar os impactos e viabilizar a disposição adequada dos resíduos da ETA, levou ao desenvolvimento de várias tecnologias. No entanto, a escolha da melhor tecnologia depende das características qualitativa e quantitativa do lodo, e das condições climáticas, sendo que cada estação terá um lodo com características distintas (FONTANA, 2004). Pode-se acrescentar a estes fatores, segundo Reali (1999), a área necessária para implantação, custo da área, distância da estação até o destino final, custo dos equipamentos, operação, preparo de recursos humanos para preparação e a necessidade de condicionamento do lodo.

De acordo com Achon (2003), os métodos utilizados para redução de volume de resíduos (lodo) mais conhecidos são classificados em:

- Natural: leito de secagem e lagoas de lodo.
- Mecânico: filtro a vácuo, filtro prensa de placas, centrífugas, filtro prensa de esteira.
- Outros métodos pouco usuais: congelamento e incineração.

De acordo com Di Bernardo *et al.* (2011) os métodos mais utilizados para tratar os resíduos de ETA se baseiam na equalização, regularização de vazão – quando

houver qualquer tipo de tratamento dos resíduos que não seja por meio de lagoas e que a limpeza não seja manual –, condicionamento, adensamento, desaguamento, secagem e em alguns casos incineração, conforme é demonstrado na Figura 3.4.

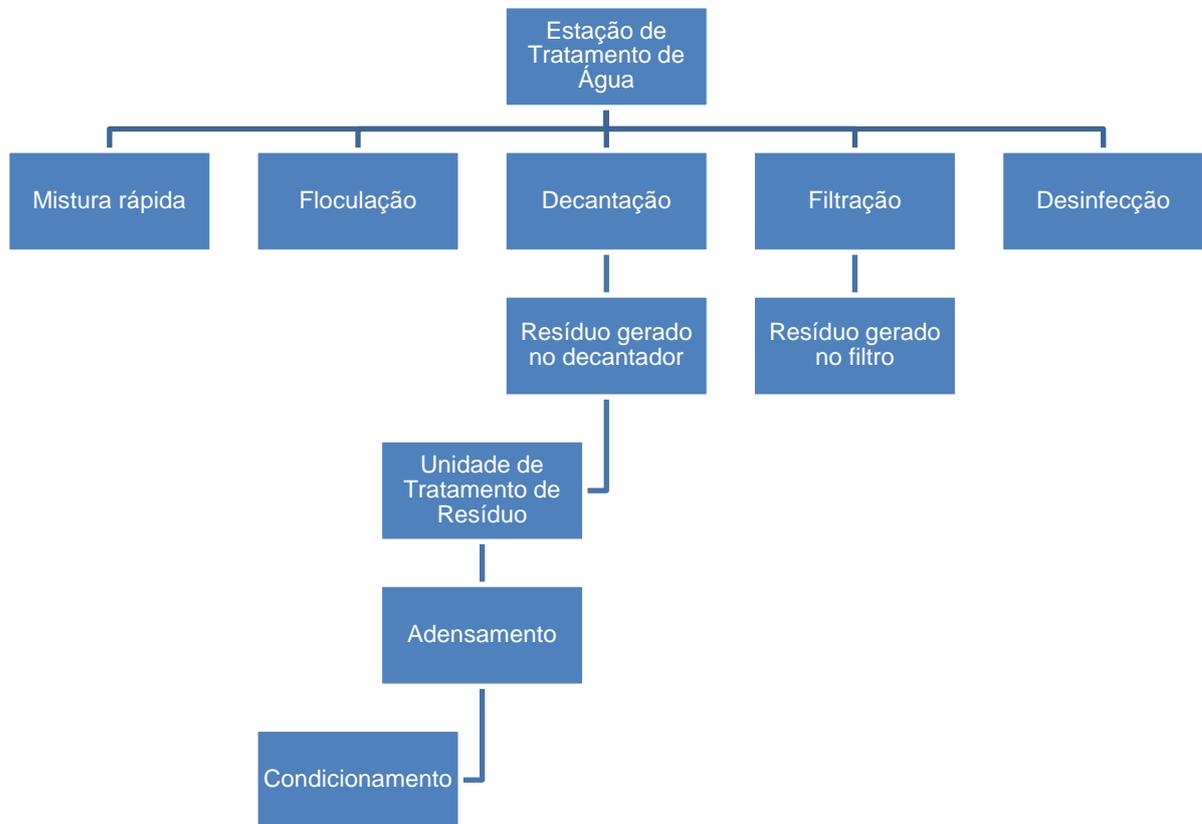


Figura 3.4: Fluxograma do tratamento do lodo na unidade de tratamento de resíduos

### 3.4.1. Adensamento

O adensamento tem por objetivo a produção de um lodo mais concentrado, para tanto, neste processo são utilizadas condições apropriadas para promover a remoção do máximo de água deste resíduo.

Segundo Ferreira Filho (1997), o adensamento é uma das mais importantes operações unitárias do processo de tratamento da fase sólida. De um modo geral, os equipamentos de desidratação mecânica existentes no mercado recomendam uma concentração de sólidos totais no lodo de entrada da ordem de 2% para que o seu funcionamento ocorra de forma adequada. No entanto, a maioria das operações de

separação sólido-líquido, produzem lodos com concentração inferior a 1%. Assim, o correto dimensionamento do sistema de adensamento é de vital importância no sucesso operacional do sistema de tratamento da fase sólida.

De acordo com Richter (2001), a viabilidade do processo de adensamento reflete nas etapas seguintes de desidratação e de transporte mais econômico para posterior disposição. O adensamento pode ser realizado por gravidade ou flotação.

O adensamento por gravidade possui como princípio a sedimentação das partículas sólidas por gravidade, sendo normalmente um processo contínuo, porém, em pequenas instalações, pode ser vantajosa a alternativa de batelada, onde uma porção de lodo é conduzida a um tanque e deixada decantar por algumas horas (RICHTER, 2001).

Ainda segundo Richter (2001) o sobrenadante clarificado é removido e o lodo adensado é depositado no fundo. O sobrenadante pode ser aos poucos removido em diversos níveis por meio de um tubo ou canalizações fixas sobrepostas. O lodo permanece decantando e adensando até atingir a concentração desejada, ou até que não se observe mais a decantação do lodo. Os adensadores por batelada geralmente têm um fundo de cone invertido com a finalidade acumular e facilitar a retirada do lodo adensado.

Os adensadores contínuos são geralmente circulares, assemelhando-se aos decantadores de manta de lodo. Assim, o lodo entra próximo ao centro defletor e flui para baixo, acumulando-se no fundo do tanque, formando um manto de lodo. O raspador de lodo agita suavemente o lodo, levando-o para o poço de descarga situado no fundo e ao centro do tanque. Por não possuir câmaras de concentração do lodo, a extração é feita de forma contínua. O sobrenadante é recolhido no periférico, sendo recirculado para os filtros ou para o início do tratamento da estação (RICHTER, 2001).

A flotação é o processo pelo qual a fase sólida, com densidade menor que o líquido

de suspensão, é separada permitindo flutuar para a superfície. No sistema de adensamento por flotação a ar dissolvido, as partículas sólidas são removidas da água fazendo-as flotar, reduzindo assim sua densidade pela adesão das minúsculas bolhas de ar (RICHTER, 2001).

Existem algumas vantagens do adensamento por flotação em relação ao adensamento por gravidade, como por exemplo: maiores taxas de aplicação de sólidos e de clarificação, unidades mais compactas, maiores concentrações de sólidos no lodo espesso, maior versatilidade operacional da instalação devido ao controle de ar fornecido para a flotação (REALI, 1999).

Segundo Richter (2001), as bolhas de ar são geradas pela súbita redução da pressão na corrente líquida saturada de ar, advinda da câmara de saturação. Através de uma bomba, uma pequena quantidade de água clarificada é elevada a uma pressão e conduzida ao tanque de saturação, tornando-se saturada de ar por meio da alimentação de um compressor.

A água é recirculada no sistema, onde sua pressão é diminuída bruscamente, liberando, uma grande quantidade de microbolhas de ar, que se aderem aos flocos já formados, fazendo-os flotar. Assim, os flocos sobem e se acumulam na superfície do tanque, sendo removidos periodicamente por raspadores superficiais (RICHTER, 2001).

Em estações que utilizam coagulantes à base de alumínio ou ferro, os lodos gerados necessitam de um adensamento com condicionamento químico através de dosagens adequadas de polímeros sintéticos. Estes lodos podem ser condicionados com a adição de cal, em dosagens bem maiores que as de polímeros, resultando em um melhor adensamento. Entretanto, ocorre um aumento na massa de sólidos do lodo, devido à cal adicionada (FONTANA, 2004).

Segundo Fontana (2004), o principal objetivo da utilização de polímeros condicionadores no adensamento do lodo é a minimização da quantidade de água

transportada e a melhor clarificação da água para recuperação.

### **3.4.2 Condicionamento**

O condicionamento de lodos de ETA visa melhorar suas propriedades estruturais para permitir a drenagem da água livre, aumentar a recuperação de sólidos além de reduzir o tempo dos ciclos para o desaguamento (MENDES, 2001).

De acordo com o mesmo autor, ambos os processos unitários, adensamento ou desaguamento, podem ser otimizados com o pré-condicionamento do lodo adicionando soluções de polímeros. A escolha do melhor polímero apenas pode ser efetuada por meio de ensaios em escala de laboratório ou piloto e através da otimização do processo em escala real.

Os ensaios devem ser considerados como indicadores na escolha do polímero e sua respectiva dosagem, uma vez que são incapazes de reproduzir totalmente as condições operacionais, como por exemplo, o cisalhamento do lodo no interior do equipamento, devendo o condicionamento ser otimizado em escala real (MENDES, 2001).

A atuação dos polímeros como condicionantes se dá pelos mecanismos de adsorção e formação de pontes químicas. Quando um polímero adere a um coloide, causa a dessorção da água superficial ligada ao coloide, levando à neutralização da carga e à aglomeração com outras partículas. Como resultado tem-se a formação de flocos capazes de liberar água mais facilmente (YUZHU, 1996 *apud* MENDES, 2001).

### **3.4.3 Desidratação ou desaguamento**

A desidratação é a remoção de água do lodo por meio de forças naturais, como evaporação natural por meio de leitos de secagem, ou mecânica, através de equipamentos como centrífuga. Esta será mais fácil quanto mais intensa for sua

sedimentação e compactação (LIBÂNIO, 2010).

De acordo com Andreoli *et al.* (2001) as principais razões para se realizar a desidratação do lodo são: redução do custo de transporte para o local de disposição final; melhoria das condições de manejo do lodo; aumento do poder calorífico do lodo, através da redução da umidade com vistas à incineração, e redução do volume.

Segundo Teixeira *et al.* (2006) o lodo após ser desidratado passa a ter 65% de sólidos concentrados, sendo que sua concentração inicial é da ordem de 90% de água.

#### 3.4.3.1 Desidratação não mecânica

Conforme Richter (2001), a desidratação por dispositivos não mecânicos, naturais, como em lagoas e em leitos de secagem, a remoção de água é realizada por evaporação natural e drenagem por gravidade. Estes sistemas são mais indicados para pequenas estações de tratamento, com capacidade menor que 200 L/s, devido a indisponibilidade de terrenos que limita instalações maiores e ao alto custo da área, e com condições climáticas apropriadas.

As lagoas de desidratação e os leitos de secagem operam com as mesmas cargas superficiais, sendo que a diferença entre eles está na profundidade líquida. Os leitos de secagem não ultrapassam 0,6 metros e, nas lagoas, chegam a até 1,80 metros. Sendo assim, as lagoas conseguem suportar picos de cargas volumétricas com maior facilidade que os leitos de secagem, necessitando de menor número de limpeza por ano (RICHTER, 2001).

Os mecanismos de desidratação dos leitos de secagem consistem basicamente em decantação, percolação ou drenagem e evaporação para obter a concentração de massa seca de lodo desejada. Assim, são dimensionados para um período de armazenamento total de três a quatro meses, ou seja, recebe um número de três a

quatro aplicações por ano em cada leito (RICHTER, 2001).

Para implantação dos leitos de secagem, a definição da área é de fundamental importância. A escolha e disponibilidade de áreas próxima à ETA facilitam o sistema, uma vez que as questões de transporte e de retorno da água drenada para a ETA não terão custo elevado. Outro aspecto que facilita o processo é a seleção de áreas de implantação situadas em cotas mais baixas que os decantadores, evitando o bombeamento do lodo bruto, que seria realizado com bombas específicas, dependendo da concentração de sólidos presentes no lodo. No entanto, estas áreas não podem estar sujeitas a inundações e devem ser construídas em terrenos com baixo nível do lençol freático (ANDREOLI, 2001).

Em leitos de secagem tradicionais, a estrutura básica é formada por uma camada suporte, meio filtrante e sistema drenante. A camada suporte e drenante pode atingir uma espessura de aproximadamente 40 cm conforme Figura 3.5 (ANDREOLI, 2001).

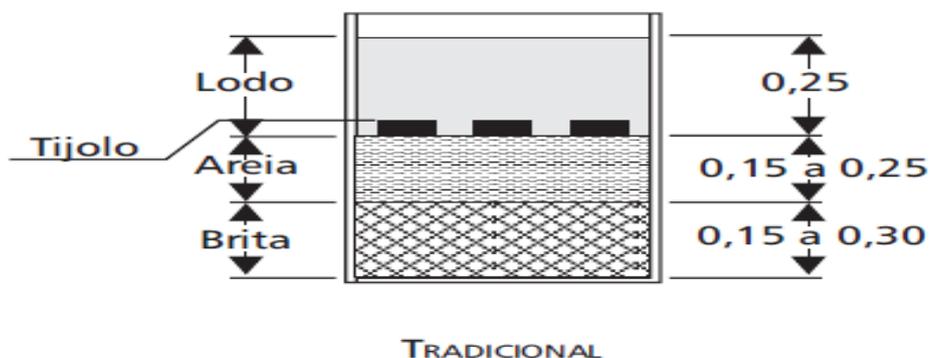


FIGURA 3.5: Sistema de leito de secagem tradicional  
Fonte: Andreoli, 2001

Segundo Richter (2001), a operação de um leito de secagem compreende em um ciclo de duas fases basicamente: enchimento, dependendo do número de unidades e da capacidade de cada leito, durando em torno de 15 a 30 dias e secagem, dependendo exclusivamente do clima e da concentração final desejada, permanecendo por 3 semanas ou mais.

De acordo com Di Bernardo *et al.* (2011), o desaguamento é influenciado

principalmente pela temperatura, umidade do ar, viscosidade do lodo adensado e ação dos ventos. Sendo que quanto maior a espessura do lodo inicial no leito, menor será o teor de sólidos suspensos totais - SST após um determinado tempo de desaguamento.

Nas lagoas de secagem o processo de desidratação ocorre por drenagem e evaporação, conforme os leitos de secagem, no entanto, por representar uma profundidade maior, é capaz de armazenar uma carga por um período de um ano (GUIMARÃES, 2005).

De acordo com Achon *et al.* (2008) o projeto de lagoas de lodo inclui: sistema de tubulações para entrada de lodo e saída do decantado, sistema de bombeamento e equipamentos para remoção mecânica de lodo.

A drenagem da água decantada no sistema deve ser removida de forma contínua ou intermitente, podendo ser recirculada para o início do tratamento, desde que sejam realizados experimentos que comprovem que tal prática é sanitariamente segura. A retirada da água decantada é importante para que a massa de sólidos fique exposta e o processo de evaporação seja eficaz para a formação da massa de sólidos, tendo influência direta no ciclo de secagem (FONTANA, 2004).

A operação e manutenção das lagoas de secagem envolvem: aplicação de lodo, remoção do decantado, remoção de sólidos no final de cada ciclo, eventuais reparos no talude (FONTANA, 2004).

Quando a remoção da água sobrenadante, através de dispositivos apropriados, não é mais possível, inicia-se a evaporação, que é o principal fator para o desaguamento (ACHON *et al.* 2008).

Outro sistema que vem sendo empregado no Brasil e muito difundido na Europa e EUA é o uso de *bags* de geotecido. De acordo com Di Bernardo *et al.* (2011) seu emprego pode ser por processos contínuos ou por batelada, horizontal ou vertical.

Os *bags* horizontais possuem capacidade de armazenar até 500 m<sup>3</sup> de lodo até que seu volume útil seja atingido, permanecendo em repouso até que SST alcance um valor superior a 30%, o que ocorre com um tempo de desaguamento em torno de 30 a 60 dias. Os pequenos poros do geotecido permitem a drenagem da água e a retenção dos sólidos. Após o enchimento e desidratação por drenagem, a secagem do lodo permanece por processos de evaporação, já que o tecido permite a passagem de vapor d'água conforme mostra a Figura 3.6 (GUIMARÃES, 2005).



Figura 3.6: Bags horizontal de *geotube*  
Fonte: Geosynthetics, 2011

O sistema de *bags* verticais, com 1 ou 2 m<sup>3</sup>, funciona de forma contínua, sendo que após seu enchimento e desaguamento, o lodo é descarregado em caçambas para armazenamento temporário, o *bag* é esvaziado, lavado e reaproveitado. A escolha para o tipo de *bag* varia conforme o volume de lodo gerado diariamente, sendo que estações maiores optam por *bags* horizontais e estações menores por *bags* verticais (DI BERNARDO *et al.* 2011).

#### 3.4.3.2 Desidratação mecânica

No processo de desidratação mecânica, a remoção de umidade da massa de lodo ocorre por meio de forças físicas com o auxílio de alguns equipamentos como: filtro prensa, centrífuga e prensa desaguadora. Apresentando como vantagens um lodo mais concentrado, com elevado teor de sólidos, e a redução da área gasta para este processo. No entanto, apresentam algumas desvantagens, por necessitar de um elevado custo de implantação, operação e manutenção.

#### 3.4.3.2.1 Filtro a vácuo

A filtração a vácuo se dá com a aplicação de um diferencial de pressão sobre uma massa de lodo (MENDES, 2001). O equipamento de filtração a vácuo consiste em um tambor na posição horizontal, suspenso e imerso em um recipiente contendo lodo. O tambor é subdividido em setores que servem de suporte para o meio filtrante (FONTANA, 2004). De acordo com Mendes (2001) a pressão negativa é aplicada internamente no tambor e a água do lodo é drenada para seu interior.

De acordo com Fontana (2004), a movimentação se dá pela lenta circulação do tambor, variando de  $1/8$  a 1 rotação por minuto (rpm). A submersão é cerca de  $1/4$  das superfícies externas. Assim, pressões negativas e positivas são aplicadas alternadamente, durante cada volta. Esta operação permite que os sólidos depositem-se sobre a superfície e que a água drenada por meio do lodo seja recolhida através da superfície filtrante.

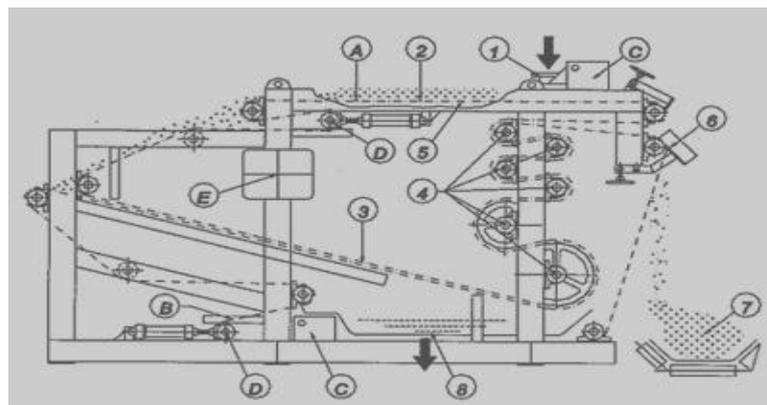
De acordo com os estudos de Richter (2001), o filtro a vácuo não possui um bom desempenho em desidratar os lodos, principalmente aqueles coagulados com sulfato de alumínio. O lodo não consegue ficar retido nos tecidos do filtro e os poros da tela são obstruídos rapidamente, sendo, portanto, pouco utilizado em ETA.

Igualmente, Andreoli *et al.* (2001) relatam que a utilização do filtro a vácuo teve um declínio na área de saneamento, devido ao seu elevado consumo de energia e a menor eficiência quando comparado com os outros processos de desidratação.

### 3.4.3.2 Filtro prensa de esteira ou Prensa desaguadora

Os filtros prensa de esteira, ou prensa desaguadora, normalmente recebem o lodo pré-adensado em adensadores por gravidade ou em adensadores por esteira. A operação em série de adensadores por esteira seguidos de secagem em filtros prensa de esteira é uma alternativa de uso crescente, inclusive com o acoplamento de ambos equipamentos em um único (MENDES, 2001).

O equipamento funciona com o lodo sendo introduzido entre duas correias, em que uma delas é o meio filtrante, deslocando entre roletes, os quais promovem a compressão de uma esteira ou correia sobre a outra, provocando a drenagem do líquido conforme Figura 3.7 (MENDES, 2001).



- |   |                        |
|---|------------------------|
| A – Correia Superior                        | 3 – Pré-prensagem      |
| B – Correia inferior                        | 4 – Rolos de prensagem |
| C – Jatos de limpeza                        | 5 – Tela superior      |
| D – Cilindro regulador da tensão da correia | 6 – Lâmina raspadora   |
| 1 – Chegada do lodo floculado               | 7 – Lodo desidratado   |
| 2 – Zona de desaguamento                    | 8 – Saída de filtrado  |

FIGURA 3.7: Esquema de filtro prensa de esteira  
Fonte: EnvironQuip, 2011.

Neste sistema de desidratação, o lodo a ser desaguado entra em uma câmara na qual é aplicado um polímero, passando por uma esteira porosa onde a água livre é drenada, e o sólido restante é conduzido para uma zona de compressão entre duas esteiras, conforme Figura 3.8 (DI BERNARDO *et al.*, 2011).



FIGURA 3.8: Prensa desaguadora  
Fonte: Foelkel, 2010

De acordo com Di Bernardo *et al.* (2011) alguns parâmetros devem ser recomendados para este tipo de tratamento: teor de sólidos suspensos total no lodo afluente de 3 a 6% (massa/massa); capacidade de 80 a 120 kg SST/h por metro de largura da esteira; concentração da torta de 17 a 20% (massa/massa); consumo de polímero de 1,5 a 3,0 g pol./kg SST. Sendo produzido em geral uma torta com concentrações de SST da ordem de 15 a 20%.

No entanto, Richter (2001) descreve que a torta com concentrações da ordem de 20% é obtida com lodos gelatinosos de sulfato de alumínio e desde que a natureza da água bruta não produza flocos com partículas minerais em suspensão, a torta pode chegar de 40 a 50% de sólidos secos.

De acordo com o mesmo autor, a eficiência da prensa depende essencialmente das características do lodo aplicado, de seu adequado condicionamento, do tempo de prensagem, da pressão aplicada pelas telas e do tipo de abertura da malha. Sendo que o condicionamento com polímeros produz a floculação que permite a água drenar com facilidade, formando um floco com estrutura fibrosa, facilitando a sua retenção nas telas. Assim, a relação pressão aplicada / tempo de prensagem deve ser a maior possível para reduzir a velocidade de transporte das telas e aumentar a tensão aplicada a elas.

#### 3.4.3.2.3 Filtro prensa de placas

O filtro prensa foi o primeiro sistema a produzir uma torta de lodo com um teor elevado de sólidos, adequada à disposição direta em aterro sanitário, se tornando por isto popular em tratar lodos provenientes da coagulação (RICHTER, 2001). Salaria ainda o autor que as operações de um filtro prensa de placas é mais comumente realizada por batelada, no entanto, existem unidades mais modernas de operação contínua.

De acordo com Mendes (2001) a sua utilização produz lodo desaguado com teores de sólidos maiores do que filtros de esteira e centrífugas, porém tem se restringido a situações em que o transporte e disposição final do lodo seco requerem torta com teores de sólidos mais elevados. O desaguamento é um processo semicontínuo, desenvolvido em batelada.

Segundo Richter (2001) o filtro prensa é o sistema mais simples e econômico. Formado por uma série de placas dispostas entre uma meia placa fixa e uma meia placa móvel nas extremidades. Cada placa possui uma secção interna, formando um espaço onde será ocupado pela torta final, e o meio filtrante encontra-se instalado contra as paredes internas das placas e retém os sólidos, deixando passar o filtrado conforme Figura 3.9.



FIGURA 3.9: Representação do filtro prensa de placas  
Fonte: Tecitec, 2011.

O lodo, na maioria das vezes pré-condicionado, é bombeado para as placas com câmaras de filtração até o seu preenchimento. A partir desse ponto, o sistema permanece sendo alimentado, porém as pressões de recalque aumentam forçando o lodo contra as telas. Com isso, a água passa pelas aberturas das telas, é recolhida e, normalmente, retorna ao processo de tratamento. Já os sólidos, são retidos formando a torta de lodo desaguado (MENDES, 2001).

De acordo com Andreoli *et al* (2001) as principais vantagens na utilização do filtro prensa são: torta com concentração de sólidos superior a dos outros equipamentos mecânicos; elevada captura de sólidos; baixo consumo de produtos químicos para o condicionamento do lodo e qualidade do líquido – clarificado.

#### 3.4.3.2.4 Centrífugas

De acordo com Richter (2001) uma centrífuga consta de um tambor cilindro de eixo horizontal com uma secção cônica convergente em uma extremidade, que gira em torno de seu eixo. Possui um transportador tipo parafuso no interior do tambor girando a uma velocidade ligeiramente diferente do tambor, raspando assim o lodo centrifugado para fora da máquina. O lodo fica retido nas paredes e é encaminhado por raspadores à extremidade do tambor até a tubulação de saída. O líquido resultante do processo é escoado por outra tubulação (MENDES, 2001).

A operação consiste na separação da fase sólido-líquido cujo princípio básico é semelhante à sedimentação de partículas submetidas à ação gravitacional. No entanto, a intensidade das forças atuantes nos equipamentos de centrifugação geralmente supera as forças da gravidade em centenas de vezes (FONTANA, 2004).

De acordo com Fontana (2004), o processo de centrifugação é contínuo, sendo a operação limpa, simples e relativamente econômica.

O processo consiste no envio do lodo adensado para um tanque de armazenamento

com misturador submersível, do qual será bombeado para uma câmara centrífuga, onde irá receber uma solução de polímero e terá uma rotação em torno de 2000 e 6000 rpm, funcionando entre 12 e 20 horas por dia (DI BERNARDO, *et al.* 2011).

O lodo alimenta a centrífuga por um tubo concêntrico perto da secção cônica. O ponto de alimentação mais próximo do cone aumenta o tempo de detenção do líquido na câmara de separação, favorecendo a clarificação do líquido e prejudicando a desidratação do lodo. Caso o ponto de alimentação seja mais afastado do cone, irá favorecer a desidratação, que é o desejável (RICHTER, 2001).

De acordo Di Bernardo *et al.* (2011) as centrífugas de eixo horizontal possuem um tambor giratório sem perfurações, que promove a separação do sólido e sua acumulação nas paredes internas, na qual são arrastadas para uma das extremidades por meio de um transportador tipo rosca sem fim. Este transportador facilita o transporte dos sólidos para fora da camada de líquido existente no interior do tambor e sua descarga para fora da centrífuga, conforme ilustrado na Figura 3.10.

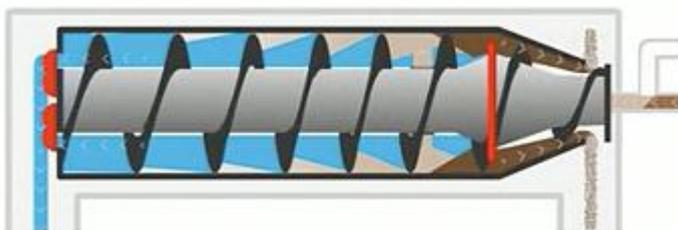


FIGURA 3.10: Centrífuga decantadora - Separação sólido- líquido  
Fonte: AlfaLaval (2011)

Para melhorar a eficiência de remoção de sólidos nas centrífugas, segundo Di Bernardo *et al.* (2011), quanto maior a relação entre o comprimento e o diâmetro do tambor, maior será a capacidade de clarificação do lodo adensado, devido a maior rotação da centrífuga. No entanto, é também usual o condicionamento com polímeros, para aumentar a eficiência, sendo recomendado que para cada lodo, seja feito um ensaio de centrifugação para determinar qual o melhor tipo e a dosagem ótima de polímero a ser utilizada (REALI,1999).

### **3.5 Disposição final e reúso do lodo**

A definição de destino final para o lodo de uma estação de tratamento de água é uma das tarefas mais difíceis para o administrador do serviço de água, envolvendo custos das tarefas de transporte e restrições ambientais quanto ao seu reúso e destino final. Há várias opções possíveis de disposição a serem adotadas, dependendo da análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental para cada caso.

Diversos estudos vêm sendo conduzidos visando à busca de novas alternativas de destinação desse tipo de resíduos, após o lodo ser tratado. Em várias partes do mundo, o tratamento e a disposição de lodos de ETAs vem sendo tratados como oportunidade de aumento de receita e, principalmente, redução de custos e de impactos ambientais em empresas e sistemas autônomos de saneamento básico (MEGDA *et al.*, 2005).

Algumas alternativas para a disposição são explicadas abaixo.

#### **3.5.1 Disposição em corpo d'água**

O lançamento do lodo em corpos receptores, devido a sua concentração, ao tamanho das partículas dispostas e a baixas velocidades de escoamento do rio a jusante do lançamento, pode levar a sedimentação das partículas sobre a camada bentônica, inibindo o crescimento de várias espécies de peixes e outros organismos aquáticos (CORDEIRO, 2002).

Estudos realizados por Achon *et al.* (2005), sobre o descarte do lodo *in natura* da ETA São Carlos – SP, no rio Monjolinho, mostraram que a grande concentração de metais (Al e Fe) comprometeu a camada bentônica.

A elevada quantidade de sólidos, a alta turbidez, as altas concentrações de metais,

a alta DQO são classificados por Achon *et al.* (2005) como os principais parâmetros que comprometem o lançamento de lodo nos corpos receptores. Com base nisto, outros impactos relevantes sofridos pelo rio Monjolinho foram: depleção da concentração de oxigênio dissolvido; alteração da biota aquática; mortandade da comunidade bentônica de invertebrados; mortandade de peixes; redução do volume útil do rio.

Estudos realizados por Machado *et al.* (2005) chegaram as mesmas conclusões, a descarga de lodo com alto teores de alumínio no corpo receptor causa toxicidade do meio aquático. A carga orgânica contida no lodo pode contribuir para o consumo de oxigênio no corpo d'água, levando a condições anaeróbias, produção de maus odores e mortandade de peixes e algas, além de afetar a camada bentônica.

Assim, os lançamentos destes efluentes contribuem para aumentar a degradação dos corpos d'água e desrespeitam a DN conjunta COPAM/CERH nº 01, (MINAS GERAIS, 2008) e a Lei de Crimes Ambientais nº 9.605 (BRASIL,1998). Sendo necessário o conhecimento dos aspectos legais para definição de estratégias gerenciais que objetivem a minimização de resíduos gerados e o aproveitamento e disposição dos resíduos, sem o detrimento da qualidade dos corpos receptores.

### **3.5.2 Aterro sanitário**

Os aterros convencionais podem ser utilizados para a disposição conjunta de resíduos orgânicos e resíduos sólidos não perigosos. No entanto este procedimento deve ser realizado com cautela, a fim de se evitar alterações significativas dos líquidos percolados nos aterros e para evitar alterações do bom desempenho dos aterros (GUERRA, 2005).

De acordo com Andrade (2005), para que o lodo seja disposto em aterro sanitário é necessário que ele siga padrões e não ultrapasse alguns valores máximos especificados. Deve-se evitar a presença de líquidos livres na sua composição, para não ocorrer a percolação do chorume e a contaminação de águas subterrâneas e do

solo.

A AWWA (1978, *apud* Guerra, 2005), relata que a torta de lodo devidamente desidratada, misturada à areia ou ao próprio solo, pode ser um material adequado para a cobertura diária em aterros sanitários. Entretanto, a disposição do lodo de ETA em aterro sanitário pode resultar na solubilização de parte dos metais contidos no lodo, devido ao fato de que os aterros sanitários são sistemas anaeróbios operando na fase ácida da fermentação, produzindo um lixiviado de pH entre 5,5 e 7,0.

A aplicação de lodo em aterros sanitários é considerada por muitos uma medida segura de conter a contaminação no ambiente, sendo muito difundida. No entanto, deve-se considerar que no Brasil, a maioria dos aterros já não é capaz de receber todos os resíduos domiciliares. Sendo cobradas altas taxas pelos aterros, para o recebimento do lodo, o que torna uma alternativa inviável, sendo recomendável o estudo de outras alternativas para disposição do lodo de ETA (ANDRADE, 2005).

### **3.5.3 Utilização na composição de matéria prima da construção civil**

Vários elementos químicos existentes na composição do lodo podem ser úteis em aplicações em indústrias. O lodo pode ser utilizado como fonte de menor custo de óxidos dos seguintes elementos: cálcio, silício, alumínio, ferro, magnésio, enxofre, sódio, potássio e manganês, além de possuir uma grande quantidade de areia e argila em sua composição, o que amplia seu uso (ANDRADE, 2005).

A reutilização dos resíduos reduz o problema de descarte em área inadequada, podendo ser utilizado na fabricação de cerâmicas, diminuindo a quantidade de massa argilosa consumida e extraída, que em muitos casos causa danos ambientais por não envolver projetos de recuperação das áreas de extração por parte das empresas de blocos cerâmicos (PAIXÃO *et al.*, 2008).

De acordo com Megda *et al.* (2005) a utilização de lodos de ETA na fabricação de

cimento é realizada com sucesso por empresas de saneamento nos EUA. Os materiais comumente utilizados na fabricação do cimento são calcário, xisto e argila. O calcário corresponde a cerca de 70 a 80% do material bruto utilizado, porém com baixas concentrações de sílica, ferro e alumínio. Para solucionar esta deficiência, é adicionada argila, xisto, minério de ferro e bauxita na massa.

Os lodos de ETA que utilizam coagulantes durante o processo de tratamento normalmente contêm todos esses elementos que são adicionados durante o processo de fabricação do cimento, podendo o lodo ser introduzido no processo de fabricação do cimento na fase de pré – homogeneização das matérias primas. O teor de sólidos necessário para esta aplicação é de no mínimo 50%, sendo que valores menores comprometem a qualidade do cimento (MEGDA *et al.*, 2005).

Os lodos mais indicados para a fabricação de tijolos são compostos de argila, silte, areia, coagulantes e matéria orgânica removida durante o tratamento de água. Lodos contendo hidróxidos de ferro ou bário atribuem ao tijolo uma coloração avermelhada, desejada pelos fabricantes (MEGDA, *et al.* 2005).

Segundo Megda, *et al.* (2005) a aplicação deste tipo de lodo pode ser realizada durante o processo de fabricação do tijolo ou diretamente na própria jazida onde a argila é retirada. Normalmente, para aplicação nas jazidas, o lodo desidratado é transportado e aplicado na proporção de 10% e a mistura com a argila é realizada *in loco*. Na maioria dos casos, a aplicação direta em jazidas não requer a utilização de equipamentos ou maquinários além dos comumente utilizados na extração de argila.

Estudos realizados em San Jose, Califórnia, mostram ser possível misturar 90% do lodo decorrente de processo de coagulação com sulfato de alumínio com 10% de argila para produzir tijolo, desde que o lodo esteja totalmente seco. Se o teor de sólidos fosse de 60%, poderiam ser incorporados ao tijolo 45% de lodo e se fosse 25%, somente 10% da massa poderia ser constituída de lodo de ETA (KIWA e AWWA (1990), *apud* WOLLF, 2008).

O teor de umidade é parâmetro importante para determinar o manuseio do lodo. Quando este é aplicado durante o processo com uma alta, pode prejudicar o caminhamento dos componentes de fabricação, obstruindo passagens ou aderindo-se às partes do sistema. Para aplicação direta, é desejável umidade maior que 20%, e para aplicação durante o processo, muitos fabricantes exigem teor de umidade maior ou igual a 50% (MEGDA, *et al.* 2005).

Em experimento realizado por Ponte *et al.* (2006), os principais elementos constituintes do lodo de ETA obtidos através do método de raio-X e fluorescência foram os óxidos: de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 24,46% , silício ( $\text{SiO}_2$ ) 17,01%, ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 13%, manganês ( $\text{MnO}$ ) 3,2%, cálcio ( $\text{CaO}$ ) 0,46%, enxofre ( $\text{SO}_3$ ) 0,61% e pentóxido de difósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) 0,44%. Com os resultados obtidos foi elaborada uma cerâmica utilizando 50% de lodo de ETA com uma resistência crescente entre 900°, 950° e 1000°C, onde apresentou uma resistência máxima a flexão de 10,8 MPa. Com o aumento da temperatura para 1050°C houve decréscimo da resistência de 1,2 MPa. No entanto, com a diminuição da concentração para 45% de lodo, a cerâmica apresentou resistência crescente em todas as temperaturas de queima, sendo a máxima resistência (16,9 MPa) obtida na temperatura máxima do experimento.

O mesmo experimento foi realizado com lodo provenientes da ETA de Passaúna – Curitiba/PR por Hoppen *et al.* (2003) onde os ensaios ocorreram por meio da análise por difratometria de raio X, obtendo os seguintes resultados:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  com 23,62%,  $\text{SiO}_2$  com 14,10% e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  com 8,39%. A caracterização dos agregados atendeu aos limites estabelecidos por norma. O consumo de cimento reduz cerca de 2% à medida que o teor de lodo aumenta de 0% a 7% devido à substituição de parte dos materiais. Assim, a mistura de 3% de lodo pode ser usada em aplicações normais, desde a fabricação de artefatos e estruturas pré-moldadas até construção de pavimento em concreto. No entanto, tais aplicações deverão ser acompanhadas previamente por ensaios específicos.

De acordo com Hoppen *et al.* (2003), a adição no lodo na matriz de concreto apresentou-se como uma alternativa viável tecnicamente. Além disso, essa forma de

reuso é ambientalmente correta, uma vez que é reduzida substancialmente a quantidade deste material a ser disposta no ambiente. No entanto, recomenda-se que sejam feitos testes com concentrações maiores do lodo incorporado no concreto, para que se possa analisar qual a melhor mistura a ser utilizada.

De acordo com Megda *et al.* (2005), quanto maior for a similaridade entre a granulometria do lodo e da argila, melhor será sua aplicabilidade. Por outro lado, quanto maior o teor de areia, maior será seu impacto negativo na qualidade final do tijolo. Outro contratempo que pode ocorrer é quanto à presença de cal no lodo, pois compromete a qualidade do tijolo produzido, inviabilizando a sua aplicação. Esta mesma observação deve ser feita em relação à presença de carvão ativado no lodo, uma vez que este causa expansão e, conseqüentemente, rachaduras no tijolo.

#### **3.5.4 Recuperação de coagulante**

A recuperação de coagulante consiste na extração do coagulante utilizado no processo de tratamento de água, por meio de ajustes no pH do lodo, de forma a solubilizar os hidróxidos de ferro e alumínio (FREITAS *et al.* 2005).

Tendo em vista que hidróxidos metálicos são os principais constituintes do lodo de ETA, representando entre 50 e 75% dos sólidos presentes no resíduo, e que os hidróxidos de alumínio e de ferro têm boa solubilidade em meios ácidos e alcalinos, o sistema de recuperação de coagulantes é um importante método a ser analisado (GUIMARÃES E PADUA, 2005).

A recuperação do coagulante por via ácida de sulfato de alumínio é obtida adicionando ácido sulfúrico em lodos ricos em hidróxidos de alumínio (GUIMARÃES E PADUA, 2005).

Ferranti (2005), através de testes realizados com lodos da ETA do Rio das Velhas em Minas Gerais, indicou que lodos provenientes de águas com elevado teor de matéria orgânica, formados através do mecanismo de varredura, apresentaram

percentual de recuperação superior ao do lodo gerado através do mecanismo de adsorção/neutralização de cargas, sugerindo que apenas os lodos produzidos através dos mecanismos de varredura seriam passíveis de recuperação nas condições estudadas.

Através de ensaios de laboratório, Guimarães e Pádua (2005) puderam verificar que a solubilização do lodo de sulfato de alumínio somente ocorreu em pH abaixo de 3. Entretanto, os melhores resultados, visando a redução do volume de lodo, ocorreram no pH 2 e no pH 1.

De acordo com Guimarães e Pádua (2005), quanto menor o pH de solubilização, maior foi a redução de volume de lodo obtida. A qualidade do coagulante recuperado com pH 1, 2 ou 3 foi praticamente a mesma em termos da concentração de  $Al_2O_3$  disponível, cuja concentração obtida esteve entre 0,9 e 1,7%.

Considerando-se a boa redução do lodo obtida e também as menores dosagens demandadas de ácido sulfúrico, fatores estes que interferem nos custos do processo de recuperação, o pH 2 foi definido como o pH mais adequado para recuperação do sulfato de alumínio na ETA Rio Manso em Minas Gerais (GUIMARÃES E PÁDUA, 2005).

Vale salientar que as concentrações de  $Al_2O_3$  disponível no coagulante recuperado são bem menores que as encontradas no coagulante comercial. A concentração média de  $Al_2O_3$  no sulfato de alumínio recuperado no pH 2 foi de cerca de 1,1%, enquanto que a concentração exigida no coagulante comercial para o tratamento de água é de no mínimo 7,5%. Tendo a necessidade de utilizar volumes mais elevados de coagulante recuperado para obter uma eficiência similar à do coagulante comercial (GUIMARÃES E PADUA, 2005).

Estudos realizados por Freitas *et al.* (2005), visando a recuperação de sulfato de ferro na ETA Rio Grande em São Paulo, também chegaram à conclusão que o pH ideal para a acidificação é em torno de 2. Foi verificada a inadequação da

acidificação com pH superior a 2 devido à queda significativa da eficiência, e inferior a 2 devido à grande quantidade de ácido necessária para atingir esse valor. As concentrações regeneradas de sulfato de ferro foram da ordem de 0,07%, sendo que o comercial é da ordem de 11,73%.

Diante disso, pode-se constatar que as concentrações de coagulante recuperado são bem inferiores às exigidas nos sistemas de tratamento de água, necessitando, portanto, de volumes superiores do coagulante regenerado para atingir a uma eficiência similar a do coagulante comercial.

### **3.5.5 Recuperação de área degradada**

A forma mais usual de aproveitamento dos resíduos de ETA nos EUA é a sua aplicação em solos agrícolas (25% do total de resíduos produzidos), advindo alguns benefícios como a melhoria da estrutura do solo, ajuste de pH, aumento do número de poros e com isso o aumento da capacidade de retenção de água e condições de aeração do solo (RICHTER, 2001).

De acordo com a Sanepar (2010) a recuperação de áreas degradadas com utilização de lodo de ETA apresenta-se como uma das alternativas mais adequadas do ponto de vista ambiental e econômico, visto que o material é formado por constituintes do solo e por nutrientes essenciais ao desenvolvimento de vegetais.

Com base em AWWA (1995 *apud* Portella *et al.* 2003), o lodo de ETA possui característica similar ao solo, quando comparado com o lodo de esgoto. Nesse caso, de modo geral, o nitrogênio e o carbono orgânico no lodo da ETA são mais estáveis, menos reativos e em maiores concentrações, em relação ao disponível no solo (NETO LAPERULA, 2006).

Segundo Teixeira *et al.* (2005), a aplicação do lodo de estação de tratamento de água em solos degradados é uma alternativa tanto para a disposição desse resíduo como para recuperação do solo.

Chão (2006, *apud* Elliot 1990), avaliou as propriedades físicas – químicas dos lodos de ETA em relação a vários parâmetros de interesse agrônomo, tais como concentrações de cálcio, de nutriente (nitrogênio (N) e fósforo (P)) e carbono orgânico total (COT). Sendo que o lodo de ETA analisado teve um potencial de utilização como substituto de solos, devido ao fato de apresentar características similares aos mesmos. Constituindo-se predominantemente por sedimentos e substâncias húmicas, provenientes da água bruta, o que confere uma textura fina e uma boa capacidade de agregação do solo, características comprovada pelos teores de carbono orgânico total, que estiveram em torno 30g COT/kg.

Segundo Silva *et al.* (2005), os atributos químicos em solo degradado, após a aplicação do lodo de ETA, apresentaram aumento no pH, nos teores de Ca e Fe no solo. Ressaltaram, também, a presença dos demais nutrientes em menor quantidade. Entretanto, não houve a presença de elementos tóxicos, concluindo que o lodo de ETA é viável como fertilizante, porque contém nutrientes de plantas, apesar de ter verificado que o Nitrogênio está presente em pequena quantidade.

Teixeira *et al.* (2005), realizando experimento para analisar apenas teores extraíveis de Fe, Cu, Mn, Zn, Cd, Pb, Ni e Cr, verificaram que os teores de Mn, Cu e Fe aumentaram, o que não ocorreu com o Zn. Assim, Teixeira *et al.* (2005) puderam concluir que apesar dos resultados benéficos apresentados (aumento do pH e adição de nutrientes), os efeitos negativos, como a toxicidade com alumínio e a presença de metais pesados, podem causar impacto ambiental, portanto a aplicação do lodo de ETA no solo deve ser monitorada.

No entanto, a disponibilidade de fósforo pode ser afetada negativamente pelo uso lodo de ETA, devido a uma grande quantidade de hidróxidos de alumínio e ferro presente no lodo. Portanto, há necessidade de estabelecer dosagens complementares de fósforo, quando da aplicação de lodo de ETA (SANEPAR, 2010).

#### **4. ESTUDO DE CASO**

#### **4.1 Descrição do Manancial de Abastecimento**

O município de Itaguara pertence à bacia hidrográfica do Rio São Francisco, tendo como cursos d'água principais o Córrego Itaguara e o Rio São João, e como sub-bacias o Córrego Cambindas e o Córrego Mato Dentro. Itaguara se encontra nas coordenadas geográficas S 20° 23' 29" e O 44° 29' 27", ocupando uma área de 10,3 km<sup>2</sup>.

O clima típico de Itaguara é o tropical de altitude com verões frescos e estação seca bem pronunciada. Enquadra-se no bioclima subtropical, com temperatura média anual de 21,8°C, média máxima anual de 28,7°C e média mínima anual de 15,8°C. O índice pluviométrico médio anual é de 1.272 mm.

As captações de abastecimento da ETA Itaguara – MG, atualmente são: Córrego do Mato Dentro e Córrego Cambindas, com uma bacia de contribuição de 6,5 km<sup>2</sup> e 3,8 km<sup>2</sup> respectivamente. Ambos os cursos d'água são contribuintes do Córrego Itaguara, cuja bacia drena a malha urbana da cidade.

De acordo com os dados da Fundação João Pinheiro (2002), as duas captações estão situadas em região cuja tipologia apresenta pluviosidade anual entre 1.000 e 1.500 mm, com predominância de relevo forte ondulado a montanhoso, com terrenos com baixa capacidade de infiltração (solo argiloso associado a substrato rochoso de baixa permeabilidade). As vazões mínima de 10 anos de recorrência e 7 dias de duração ( $Q_{7,10}$ ), do Córrego Mato Dentro é de 28,9 L/s e do Córrego Cambindas é de 16,9 L/s.

#### **4.2 Descrição do processo de produção na estação de tratamento de água, SAAE – Itaguara**

A captação no Córrego Cambindas é feita através de uma barragem de concreto para afogamento da tomada d'água, formando uma pequena represa sem utilidade

para regularização da vazão, conforme Figura 4.1. Em seguida a água captada é encaminhada para uma caixa de areia e daí segue para a estação de tratamento. A adução é em tubos de ferro fundido por um percurso de 4.469 metros. A captação no Córrego Mato Dentro ocorre da mesma forma, conforme representa a Figura 4.2, no entanto o percurso das adutoras é de 4.209 metros.



Figura 4.1: Captação de água no Córrego Cambindas  
Fonte: Prefeitura de Itaguara

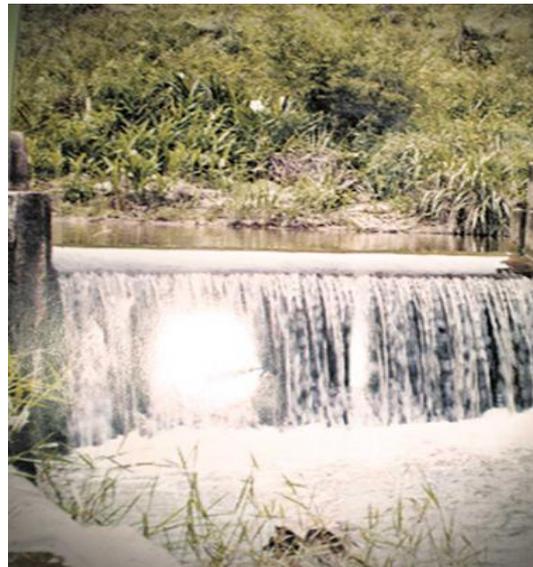


Figura 4.2: Captação de água no Córrego Mato Dentro  
Fonte: Prefeitura de Itaguara

A ETA possui um sistema de tratamento convencional, conforme demonstrado na Figura 4.3, tratando em média 22 L/s de água com vinte e duas horas de operação diária, abastecendo uma população de 9.500 habitantes.



Figura 4.3: Vista da estação de tratamento de água de Itaguara

Fonte: Prefeitura de Itaguara

A coagulação é realizada com sulfato de alumínio na Calha Parshall, seguindo para nove câmaras dos flocladores hidráulicos, tipo chicanas, seguida de decantação. O sistema possui dois decantadores retangulares (3 metros largura x 9,65 metros de comprimento, com profundidade da lamina d'água de 3,40 metros) que são lavados em média três vezes ao ano. Após ser decantada a água segue para um conjunto de dois filtros rápidos de fluxo descendentes que são lavados diariamente (carreira de filtração de 22 horas) por um período que varia de 10 a 20 min. A desinfecção ocorre no tanque de contato com o uso do hipoclorito de sódio.

A estação não possui dados referentes à produção de lodo gerado nos decantadores e na água de lavagem dos filtros. O descarte do lodo é realizado *in natura* no córrego Conquista.

## **5. MATERIAL E MÉTODOS**

### ***5.1 Procedimento de coleta das amostras***

A pesquisa foi realizada com base na caracterização do lodo coletado e produzido pela ETA de Itaguara, onde a captação da água bruta ocorre na Barragem do Mato Dentro e na Barragem dos Cambindas.

No dia 09 de outubro de 2011 foi realizada uma coleta única de cinco litros de lodo no fundo de cada decantador. A estação possui dois decantadores: decantador 1 e decantador 2. O decantador 1 recebe maior vazão de água por estar desnivelado.

Assim as amostras foram mantidas separadas para cada decantador. A coleta ocorreu utilizando um balde e uma corda para raspar o lodo do fundo, do meio para as extremidades do decantador, conforme Figura 5.1. As amostras foram preservadas a uma temperatura de 4°C.



Figura 5.1: Coleta do lodo no decantador

## **5.2 Caracterização físico-química do lodo**

Após a coleta, a caracterização do lodo dos decantadores da ETA de Itaguara seguiu os procedimentos descritos no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2009), sendo analisados os seguintes dados:

- Total de sólidos sedimentáveis do lodo;
- Teor de umidade da amostra;
- Concentração da amostra.
- Teor de metais (ferro, alumínio, cádmio, zinco, chumbo) do sobrenadante
- Teor de metais (ferro, zinco, chumbo, alumínio, cádmio) do sólido.
- Sílica

### 5.2.1 Teor de sólidos sedimentáveis

A análise do teor de sólidos sedimentáveis foi realizada no Cone Imhoff, com tempo de sedimentação de 1 hora, utilizando três réplicas para cada decantador: decantador 1, decantador 2 e amostra composta em 1:1 pelo lodo do decantador 1 e decantador 2. A amostra composta foi analisada para verificar a realidade em que o lodo é lançado no corpo d'água, pois a descarga dos decantadores ocorre simultaneamente parando a estação por algumas horas.



Figura 5.2: Sedimentação do lodo do decantador da estação de Itaguara

### 5.2.2 Teor de umidade da amostra real e concentração da amostra

Para determinar o teor de umidade, foram realizadas análises no lodo dos decantadores 1, 2 e amostra composta. Foi transferido para uma cápsula 20 mL da amostra e colocada em banho-maria até secar, após perder a maior parte da água, a amostra foi encaminhada para uma estufa a uma temperatura de 105°C por uma hora e posteriormente encaminhada para um dessecador por 30 minutos para então ser pesada até adquirir um peso constante.

Com base na formulação abaixo foi possível estimar a concentração de sólido da amostra e o teor de umidade:

$$\text{Concentração (mg/L)} = (\text{CS} - \text{CV}) \times 1000 \times 1000 / \text{Vol} \quad (\text{equação 5.1})$$

Na qual:

CS = cápsula+ sólido

CV = cápsula vazia

Vol = volume da amostra

Teor de umidade (%) =  $(PA - PAS) / PA \times 100$  (equação 5.2)

Na qual:

PA = peso amostra

PAS = peso amostra seca

### **5.2.3 Centrifugação da amostra**

Em um Erlenmeyer foram separadas amostras dos decantadores 1, 2 e amostra composta. Foram utilizados seis francos de 50 mL para cada amostra, com 45 mL de amostra em cada, com rotação de 2500 rpm por 10 minutos.

#### **5.2.3.1 Análise do sobrenadante**

Para determinar o teor de metais – ferro, zinco, chumbo, alumínio, cádmio, foram utilizadas duas replicadas. Em um béquer foi transferido 50 mL da amostra de cada decantador e 10 ml de ácido nítrico e colocado para digerir em uma chapa a 80°C por quatro horas. Digerida a amostra, esta foi transferida para um balão volumétrico de 50 mL. A leitura das amostras ocorreu por absorção atômica.

#### **5.2.3.2 Análise do sólido**

Para a análise de sólido foi medido o teor de umidade (%) e a concentração (mg/L) conforme descrito no item 5.2.2.

Para determinar o teor de metais – ferro, zinco, chumbo, alumínio, cádmio, foram utilizadas duas replicadas. Em um béquer foi transferido 2 g da amostra de sólido de

cada decantador, 10 mL de ácido nítrico, 10 mL de peróxido de hidrogênio e colocado para digerir em uma chapa a 80°C por cinco horas. Digerida e filtrada a amostra, esta foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL. A leitura das amostras ocorreu por absorção atômica.

Para determinar a quantidade de sílica, após ser digerida a amostra na chapa (Figura 5.3), foi feita uma coluna de filtração, onde as amostras foram filtradas, utilizando o papel de filtro Quanta JP 40 de faixa branca, ficando retidos os sólidos presentes, conforme Figura 5.4. Os papéis de filtro foram colocados em cadinhos.



Figura 5.3: Digestão da amostra de lodo em chapa



Figura 5.4: Coluna de filtração para leitura de metais

Os cadinhos foram queimados na mufla por uma hora, a uma temperatura de 900°C, para garantir que não havia nenhum resíduo orgânico presente. Após esfriado no dessecador por 30 minutos, os cadinhos foram pesados vazios. Após determinação do peso, os filtros foram transferidos para os cadinhos e colocados na mufla por uma hora para queimar toda a fração orgânica presente, e restando apenas a sílica, material inerte. Após a queima, os cadinhos foram novamente pesados para determinar a quantidade de sílica presente em cada amostra.

### **5.3 Estimativas da Produção de Lodo**

Com base nos dados secundários disponibilizados pela estação de Itaguara, foi possível estimar a produção de lodo (kg/d) da estação de Itaguara, durante o

período de um ano (outubro de 2010 a outubro de 2011) através da seguinte fórmula demonstrada por Cornwell *et al.* (1987), *apud* Andreoli (2001):

$$W = 0,0864 \times Q \times (0,44 \times D + 1,5 \times T + A) \quad (\text{equação 5.3})$$

Em que:

W = quantidade de lodo (kg/d)

T = turbidez da água bruta (uT)

D = dosagem de coagulante (mg/L)

Q = vazão da água bruta (L/s)

A = dosagem de auxiliares de coagulação (mg/L)

Após obtenção de todos os dados, a definição do reuso será fundamentada com base na caracterização do lodo da ETA de Itaguara.

## 6 RESULTADO E DISCUSSÃO

Com base nos dados cedidos pelo SAAE de Itaguara, durante o período de outubro de 2010 a outubro de 2011, foi possível calcular a produção de lodo nos decantadores da ETA conforme a equação 5.3, apresentada em material e métodos.

### ***6.1 Estimativa da produção de lodo***

A estimativa de produção de lodo conforme demonstrado na Tabela 6.2, foi possível com base nos dados de turbidez da água bruta, cor da água bruta, dose de coagulante aplicada e vazão captada conforme mostra a Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Dados fornecidos pelo SAAE de Itaguara

Mês	Vazão (L/s)			Dose coagulante (mg/L)			Cor (UH)			Turbidez (UT)		
	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Min
out/10	22,2	21,4	18,0	11,4	20,7	4,8	162	778	81	13,8	98,4	7,9
nov/10	20,1	20,8	17,9	15,4	28,1	11,3	393	2237	94	40,1	414,9	9,7
dez/10	19,5	20,8	17,4	14,5	23,9	8,1	329	991	141	55	625,7	11,1
jan/11	19,8	20,8	18,9	14,8	24,2	7,9	330,4	1181	134,3	41,4	191,9	12,8
fev/11	19,6	20,2	18,8	13,4	16,5	12,4	168,7	408,2	1,6	14,8	37,9	4,3
mar/11	19,2	20,5	13,8	11,2	27,9	5,8	490,8	6561,6	1,7	37,8	304,5	4,7
abr/11	25,7	35,0	17,6	10,5	18,3	1,3	124,5	234,3	89,7	11,7	23,8	8,4
mai/11	19,6	23,0	18,2	10,7	17,1	7,6	79,5	112,7	55,9	7,6	12,3	6,0
jun/11	21,1	23,0	19,1	8,8	17,1	7,1	72,5	126,2	57,2	6,7	14	5,4
jul/11	21,7	23,0	20,1	8,5	17,5	6,7	74,4	89,8	60,9	6,3	7,6	5,7
ago/11	22,2	23,0	19,8	8,9	17,4	6,9	92,4	117,8	69,4	6,3	8,0	5,1
set/11	22,6	23,0	21,2	9,5	10,4	8,6	109	127	67,5	7,0	7,9	6,1
out/11	21,7	23,0	19,3	15,8	48,4	7,4	210,7	840,3	123,5	14,1	53,9	7,1

Tabela 6.2: Estimativa da produção de lodo

Meses	Lodo ( kg/mês)		
	Médio	Máximo	Mínimo
Outubro/10	1479,76	8692,40	651,41
Novembro/10	3486,79	34219,72	905,76
Dezembro/10	4492,35	51167,56	911,67
Janeiro/11	3521,28	16093,10	1110,87
Fevereiro/11	1427,37	3356,70	580,17
Março/11	3067,00	24922,17	343,46
Abril/11	1476,84	3969,18	600,90
Maio/11	818,34	1548,47	582,32
Junho/11	761,41	1700,49	555,67
Julho/11	741,89	1138,67	599,04
Agosto/11	769,11	1171,81	548,42
Setembro/11	859,94	979,25	710,73
Outubro/11	1580,64	6089,54	695,66

Com base na Figura 6.1 e a Tabela 6.2 é possível verificar as produções máxima, média e mínima de lodo nos decantadores ao longo de todo o ano. Sendo a produção de maio a setembro se encontra muito baixa devido a pouca presença de turbidez da água bruta e que de outubro a janeiro a produção de lodo torna-se mais expressiva, por ser o período de chuva.

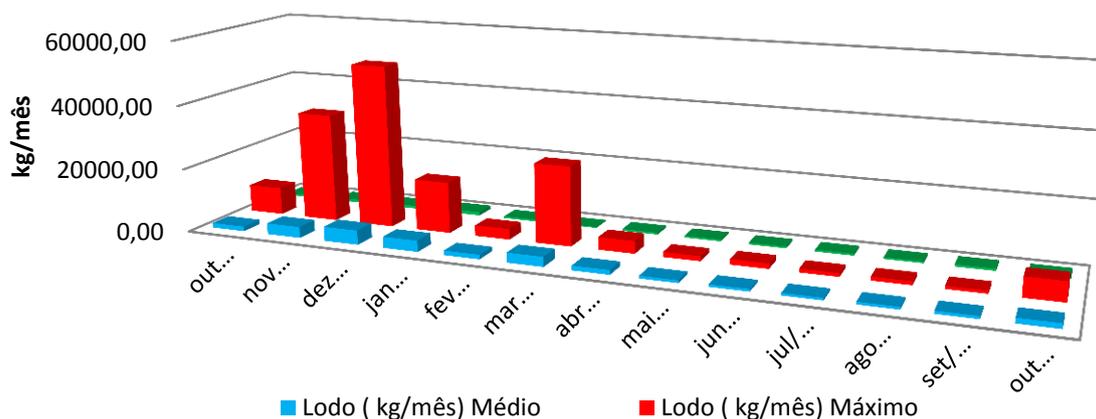


Figura 6.1: Produção máxima, média e mínima de lodo nos decantadores ao longo do ano.

De acordo com a Figura 6.2 é possível constatar que a variação de turbidez da água bruta ao longo do ano, leva a uma maior produção de lodo nos decantadores, sendo mais pronunciada no período de chuva atingindo valores entre 120 a 160 quilos de lodo gerados por dia. Esta produção ocorre devido ao aumento da turbidez da água bruta ocasionada pela grande quantidade de sedimentos carregados ao longo do curso d'água no período chuvoso.

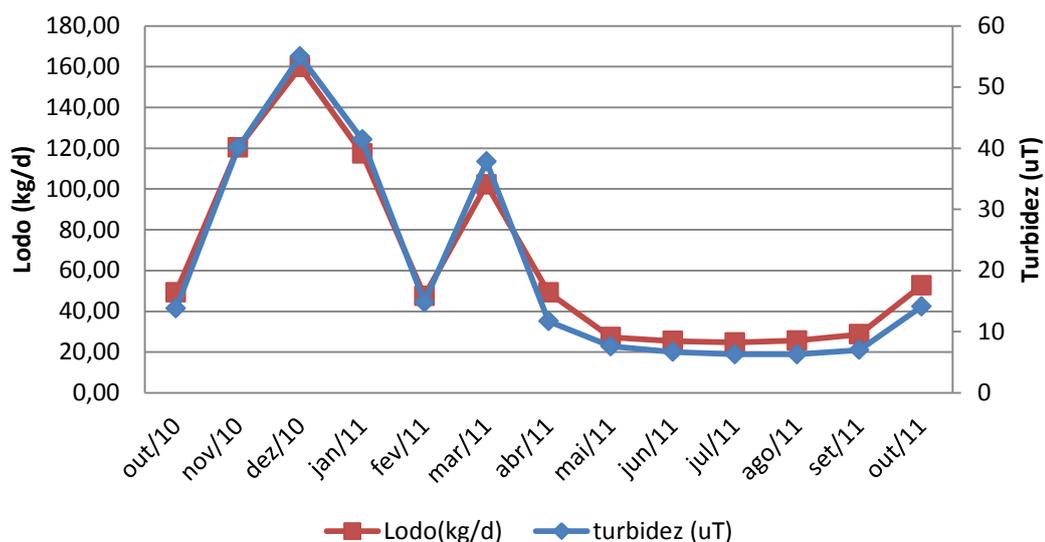


Figura 6.2: Estimativa da geração de lodo no decantador conforme a turbidez da água bruta

O mesmo pode ser observado em relação à dose de coagulante (sulfato de alumínio) aplicada na estação ao longo do ano, que possui relação com a produção de lodo, conforme demonstrado na Figura 6.3., no entanto em menor proporção devido a formulação matemática utilizada.

Na estação de tratamento de água de Itaguara, não são realizados ensaios em *Jar Test* para determinar a dose mais adequada de coagulante a ser aplicado, pelo fato da mesma não possuir equipamento, sendo que a dose de coagulante é definida conforme a prática do operador. No entanto, isso pode levar a um gasto excessivo de coagulante, gerando custos desnecessários para a estação e uma maior produção de lodo dentro do decantador.

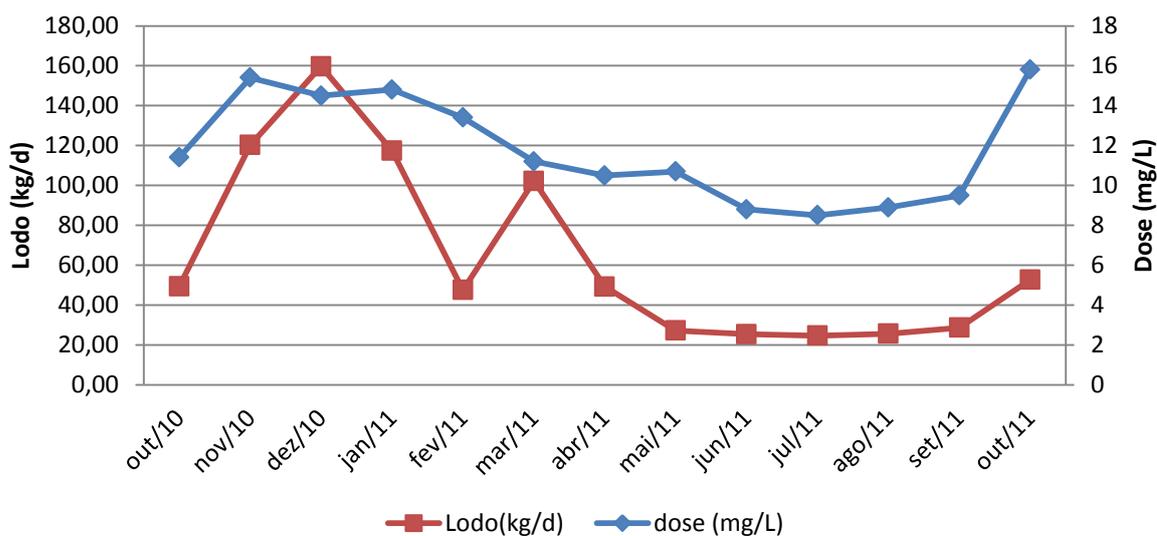


Figura 6.3: Estimativa da produção do lodo com base na dose de coagulante aplicada

A produção de lodo possui uma variação mais elevada em diferentes épocas do ano, variando de acordo com a qualidade da água bruta e não seguindo a dose de coagulante, pois a estimativa de produção do lodo foi feita utilizando uma formulação matemática onde a turbidez afluente é mais pronunciada do que a dose de coagulante aplicada.

É possível observar que as doses mais elevadas de coagulante ocorrem no período das primeiras chuvas do ano, por volta de outubro, enquanto as maiores produções de lodo ocorrem em dezembro conforme demonstrado na Figura 6.3. Este fato pode ser explicado pelo fato da estação não realizar os testes de determinação das dosagens de coagulante, ocorrendo então, um erro operacional dentro da estação.

Segundo AWWA (1987), a quantidade de resíduos gerados, depende significativamente, da qualidade da água bruta, do tipo e dose de coagulante utilizado na ETA.

## 6.2 Análise dos níveis de metais

Após serem calculados os dados de produção de lodo nos decantadores, com base nos dados de turbidez e dose de coagulante, através da coleta das amostras de lodo

foi possível analisar os níveis de metais na água livre presente no lodo e na massa de sólidos e o teor de umidade.

Como pode ser observado na Tabela 6.3, os níveis de umidades do lodo não sofreu alteração entre os decantadores, apesar do decantador 1, receber uma maior vazão de água a ser tratada.

Tabela 6.3: Teor de umidade presente no lodo

Parâmetro	Amostra		
	Composta	Decantador 1	Decantador 2
Umidade (%)	98,2	98,2	98,2

Conforme Tabela 6.4, é possível constatar os níveis de metais na água livre presente no lodo e na massa de sólidos.

Tabela 6.4: Níveis de metais na água livre e na massa de sólidos que constituem o lodo do decantador

Parâmetro	Amostra Lodo			Amostra da água livre		
	Composta	Decantador 1	Decantador 2	Composta	Decantador 1	Decantador 2
Ferro (mg/L)	231,5	218,5	190,5	8,76	23,72	20,48
Zinco (mg/L)	0,165	0,19	< 0,01	0,039	0,024	< 0,01
Chumbo (mg/L)	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,15	0,0625	0,116
Cádmio (mg/L)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,017	0,008	0,0165
Alumínio (mg/L)	153,11	138,19	116,57	< 1	< 1	< 1

Analisando a Tabela 6.4 é possível verificar que as concentrações de metais que entram no decantador permanecem em maiores níveis no teor de sólidos, do que na água livre do lodo. Os metais presentes na água bruta se depositam no fundo do decantador, após a aplicação de coagulante, e ficam retidos no lodo da estação. Nota-se também que os níveis de ferro presente na amostra composta da água livre se encontram abaixo dos valores encontrados nos decantadores 1 e 2, o que não

era de se esperar, já que a amostra composta é formada na proporção de 1:1 pelos decantadores 1 e 2.

De acordo com a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº01/2008 de Minas Gerais, que delimita os padrões de lançamento de efluentes em curso d'água, é possível verificar que o lançamento do efluente – lodo, de Itaguara, não pode ser feito em curso d'água. Os valores dos metais, alumínio e ferro, se encontram acima dos limites da resolução, conforme Tabela 6.5.

Tabela 6.5: Características do lodo comparado aos padrões de lançamento COPAM/CERH 01

Parâmetro	Amostra			COPAM/CERH nº01/2008
	Composta	Decantador 1	Decantador 2	
Ferro (mg/L)	231,5	218,5	190,5	0,3
Zinco (mg/L)	0,165	0,19	< 0,01	0,2
Chumbo (mg/L)	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,01
Cádmio (mg/L)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,001
Alumínio (mg/L)	153,105	138,185	116,565	0,1

De acordo com Reali (1999), quando os lodos de estações de tratamento de água (LETA) têm em sua composição concentrações elevadas de alumínio e esse material é lançado em cursos d'água com baixa velocidade, ou lagos, pode sedimentar, isolando a camada bentônica.

Testes realizados por Lamb e Bailey, descritos por Cornwell (1987), utilizando lodos resultantes de tratamento de água com sulfato de alumínio, mostraram que a taxa de mortalidade das espécies da camada de bento aumenta com o aumento das doses de lodo, passando a ocorrer aumento na concentração de metais tóxicos nos bentos, inibindo o movimento de pupas ali presente.

É possível verificar que os níveis de ferro representados na Tabela 6.4 estão bem superiores aos níveis de alumínio, o que não era de se esperar, visto que na estação de Itaguara é utilizado como coagulante o sulfato de alumínio. No entanto, de acordo

com dados da Embrapa Solos (2010), os solos da região de Itaguara são ricos em minérios de ferro explicando as altas concentrações deste mineral no lodo.

Analisando a Figura 6.4 é possível verificar que a concentração de ferro na água bruta se encontra elevada e que, após passar pelo processo de decantação, quase não há a presença do mesmo na água decantada. O ferro presente na matéria orgânica e inorgânica acaba sedimentando no fundo do decantador, vindo a compor no lodo da ETA.

Com base em ensaios realizados na estação de Itaguara, nota-se na Figura 6.4 que a água bruta entra na estação com concentração de 1,8 mg/L de ferro solúvel, e que ao passar pelo decantador a concentração atinge um teor de ferro menor que 0,2 mg/L.

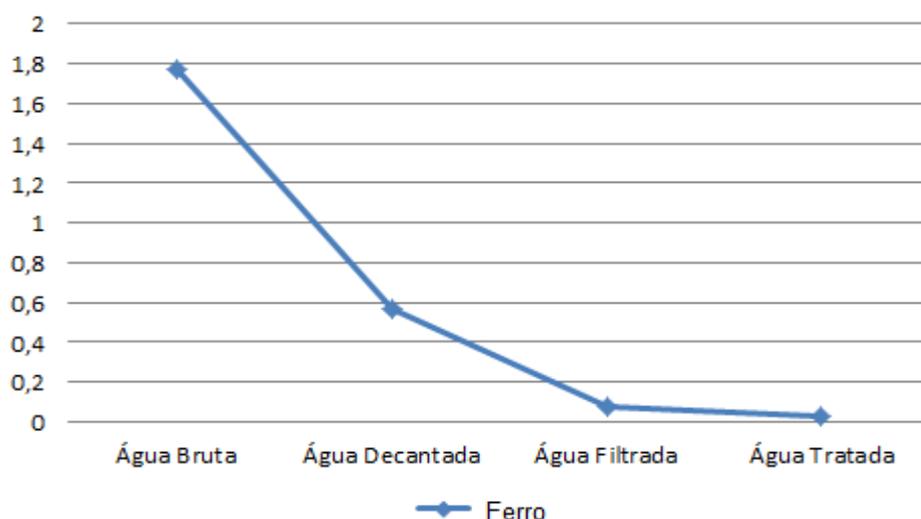


Figura 6.4: Concentração de ferro ao longo das unidades da estação de Itaguara

A reutilização do LETAs em aterros sanitários, na cobertura final de cada célula do aterro, torna-se viável quando o lodo é devidamente desidratado e misturado a areia ou ao próprio solo (AWWA, 1978 *apud* GUERRA, 2005). Verifica-se que uma das alternativas utilizadas com maior frequência é a sua destinação ao aterro sanitário. Para que este método possa ser viável, recomenda-se desidratar o lodo a um teor de sólidos de no mínimo de 20% (NBR 10.004/2004). No entanto, devido ao elevado custo, à distância a ser percorrida da estação ao aterro e a capacidade suporte do

aterro de atender a toda demanda da estação, esta opção deve ser a última escolha a ser considerada, devendo ser priorizada uma alternativa de disposição que vise o reaproveitamento do lodo de forma que ele possa contribuir para diminuir com o impacto ambiental.

Para determinar se o lodo poderá ser reutilizado na fabricação de cerâmica vermelha, é necessária a análise do teor de argila presente no mesmo, no entanto não foi possível, nesse trabalho, a caracterização deste mineral na amostra.

Com base nos estudos realizados por Paixão *et al* (2008), no lodo da estação de tratamento de água do Rio Manso, Brumadinho, MG, constatou-se que a adição de lodo com altos teores de ferro, causou efeitos deletérios em diversas características físicas e mecânicas da massa cerâmica investigada. Diminuiu a resistência à flexão do corpo seco, aumentou a absorção de água e a porosidade aparente. Entre 2 e 5% de lodo, as características físicas e mecânicas das cerâmicas foram próximas. No entanto, com a adição de 10% de lodo houve variação significativa das propriedades acima mencionadas. Portanto, de acordo com Paixão *et al*. (2008), é recomendável a incorporação do lodo de ETA até um máximo de aproximadamente 5% de lodo na massa argilosa utilizada, para que as características físicas do corpo cerâmico não sejam fortemente degradadas.

Apesar de não ter sido possível quantificar a calcita e a matéria orgânica na amostra de lodo da estação de Itaguara, é importante destacar que, segundo Souza *et al* (2008), os lodos provenientes de ETA são ricos em matéria orgânica e calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), e que durante a queima da cerâmica a  $700^\circ\text{C}$ , os LETAs, contribuem efetivamente para aumentar a emissão de gases como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}$ .

No entanto, vale destacar o ganho ambiental inestimável em reutilizar os LETA, diminuindo o descarte do mesmo em corpos d'água, reduzindo a quantidade de massa argilosa consumida e, portanto, o custo da matéria-prima para produção da cerâmica. Além de diminuir os danos ambientais causados pelas atividades extrativas de argila.

Para o reaproveitamento do LETAs, na recuperação de área degradada, segundo pesquisas de Silva *et al* (2005), verificou-se o aumento o pH do solo degradado e o aumento nos teores de Ca e Fe, mostrando-se viável o uso do lodo como fertilizante, porque contém nutrientes essenciais para as plantas, devendo ser observado a capacidade de assimilação do solo para os altos níveis de ferro e alumínio presente no lodo. No entanto, o nitrogênio não foi utilizado como critério para definir as doses de aplicação, devido a pequena quantidade presente no lodo de ETA.

De acordo com dados da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2005), para a aplicação dos LETAs em solos agrícolas, o mesmo não deverá conter níveis de metais acima do estabelecido pela Tabela 6.6.

Tabela 6.6: Características dos níveis de metal presente no lodo, comparando com os dados da CETESB

Parâmetro	Amostra			CETESB (2005)
	Composta	Decantador 1	Decantador 2	
Ferro (mg/L)	231,5	218,5	190,5	-
Zinco (mg/L)	0,165	0,19	< 0,01	7500
Chumbo (mg/L)	< 0,2	< 0,2	< 0,2	840
Cádmio (mg/L)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	85
Alumínio (mg/L)	153,105	138,185	116,565	-

Observando os limites estipulados pela CETESB (2005), é possível verificar a viabilidade de aplicar o lodo da estação de Itaguara em solos agrícolas. No entanto, é preciso monitorar os efeitos negativos, como causados pela toxicidade com alumínio e ferro presentes em altas concentrações no lodo da estação de Itaguara, para não causar impacto ambiental no solo.

## 7 CONCLUSÃO

A partir dos dados obtidos na pesquisa do lodo da Estação de Tratamento de Água de Itaguara e da revisão de literatura, conclui-se:

- A qualidade da água bruta tem influência sobre a quantidade de lodo gerado dentro dos decantadores. Os níveis de turbidez da água bruta possuem mais influencia na geração que lodo do que a dose de coagulante aplicada devido à formulação matemática utilizada e ao possível erro operacional da estação.
- A disposição do lodo dos decantadores feita atualmente pela estação no Córrego Conquista encontra-se em desacordo com as leis ambientais do COPAM/CERH 01/2008, devido aos altos níveis de metais presente no lodo.
- Para que se torne viável o reaproveitamento do lodo da estação é necessário um adensamento do lodo e posterior desidratação para que o mesmo atinja níveis de sólidos aceitáveis.
- Como forma de reaproveitamento do lodo, as principais alternativas que se destacam são: recuperação de áreas degradadas e o uso na fabricação de cerâmica vermelha, devendo ser utilizado em pequenas proporções para não interferir nas características físicas da cerâmica.
- O uso do lodo em aterros sanitários também se torna uma alternativa viável quando a estação está localizada próxima ao aterro. Devendo o lodo passar primeiramente por um processo de desidratação.
- É necessário, para garantir menor produção de lodo na estação de Itaguara, o monitoramento e otimização, por parte dos operadores, da dose de coagulante a ser utilizada diariamente, com base na qualidade da água bruta.
- Recomenda-se a criação de uma UTR na estação para que o lodo seja devidamente disposto ou reaproveitado de forma a causar um menor impacto ambiental.

## 8 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ACHON, C.L; *Análise crítica de implantação de sistemas naturais de remoção de água livre de lodo de ETA*; In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22. Joinville – SC 2003.

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: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23. Campo Grande – MS, 2005

ACHON, C. L; BARROSO M. M.; CORDEIRO, J. S. *Leito de drenagem: sistema natural para redução de volume de lodo de estação de tratamento de água*, Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, vol.13 - nº 1 p. 54-62, 2008

Alfa Laval: centrífuga. Disponível em: <<http://www.alfalaval.com/showroom/pt-pt/#/g3-decanter/como-funciona/>> acessado em 26 de novembro de 2011

*American Public Health Association – APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20. ed. New York: United Book 2009.

*American Water Works Association – AWWA Committee Report: Water Treatment Plant Sludges – An Update of the State of the Art*. part 2. JAWWA, v. 70, n. 10, p. 548 – 554, 1978

*American Water Works Association AWWA. Water Treatment Plant Waste Management*. EUA: AWWA Research Foundation, 1987.

*American Water Works Association - AWWA. An Assessment of Cropland Application of Water Treatment Residuals*. USA: AWWARF, 1995.

ANDRADE P. S. *Avaliação do impacto ambiental da utilização de resíduos de estações de tratamento de água em indústrias de cerâmica vermelha: estudo de caso*, Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, SP, 2005.

ANDREOLI C.V.; VON SPERLING Marcos; FERNANDES, F. *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Curitiba: Sanepar – Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484 p.

ANDREOLI C.V.; *Aproveitamento do lodo gerado em estações de tratamento de água e esgotos sanitários, inclusive com a utilização de técnicas consorciadas com resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro, ABES, 2001, 282p Projeto PROSAB.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT *NBR 10004: Resíduos Sólidos*, 2004,77p.

BRASIL. *Lei nº 9.605 Crimes Ambientais*. Brasília: 12 de fevereiro de 1998.15p

BRASIL, Ministério da Saúde. *Portaria 518. Normas de Qualidade da Água para Consumo Humano*. Diário Oficial da república, Brasília: 25 de março de 2004.

BRASIL, Ministério da Saúde. *Portaria 2.914. Procedimento de Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade*. Diário Oficial da república, Brasília: 21 de dezembro de 2011.

CETESB, *Decisão nº 195 Aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo*, São Paulo, 2005.

CHÃO, I. R. S, *Remoção de fósforo de efluentes de estações de tratamento biológico de esgotos utilizando lodo de estação de tratamento de água* Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, 2006

CORDEIRO J. S, *Micro propriedades de lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de água*, CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23. Cancun, México, 2002.

CORNWELL, D.A, *Water Treatment plant management*. Denver, AWWA, Reseach Foundation, p.308, 1987

CORNWELL, D.A.; BISHOP, M.M.; GOULD, R.R.; VANDERMEYDEN, C. *Handbook on water treatment plant wastes management*. Denver, AWWA Reseach Foundation. 461p. 1987.

DI BERNADO, L; DANTAS, A. D. B; VOLTN P. E. N; *Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água*. São Carlos – SP Editora LDiBe, 2011, p. 454.

ELLIOT, H. A, *Land application of water treatment sludges: impact and management*, AWWARF, 1990.

EMBRAPA SOLOS, *Relações solo-paisagem no quadrilátero ferrífero em Minas Gerais*. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v 45, nº8, p 903 – 916, 2010

EnvironQuip- Engenharia de Sistemas Ambientais Ltda. Imagem Disponível em: < HYPERLINK "http://www.vironquip.com.br/prensa-desaguadora-de-lodo.htm" > Acesso em 11 de agosto de 2011

FERRANTI, E. M, *Desidratação de lodo de estações de tratamento de água* Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rio Grande do Sul, Brasil, 2005

FERREIRA FILHO, S.S. *Pré-condicionamento de lodos de estações de tratamento de água visando o seu adensamento por gravidade*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, p. 1181-1192. Foz do Iguaçu – PR, 1997.

FOELKEL, C *Resíduos sólidos industriais do processo de fabricação de celulose e papel de eucalipto*. Parte 3 – Lodos e Lodos, Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, Agosto 2010. Disponível em: <[http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT20\\_LODOS.pdf](http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT20_LODOS.pdf)> Acesso em: 08 de agosto de 2011.

FONTANA, A.O.; *Sistema de leito de drenagem e sedimentador como solução para redução de volume de lodo de decantadores e reuso de água de lavagem dos filtros – Estudo de caso ETA Cardoso*. Dissertação Mestrado, UFSCar, São Carlos, São Paulo, 2004.

FONTES, *Cintia Maria Ariani*. *Utilização das cinzas de lodo de esgoto e de resíduo sólido urbano em concretos de alto desempenho*. Tese de Doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2008.

FREITAS, J. G., FERREIRA FILHO, S. S., PIVELI, R.P, *Viabilidade técnica e econômica da regeneração de coagulantes a partir de lodos de estações de tratamento de água*. Revista Engenharia Sanitária Ambiental vol.10, nº2, 2005.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO *Anuário Estatístico de Minas Gerais*, Belo Horizonte, 2002.

GEOSYNTHETICS; *Geotube dewatering containers help in cleanup of the Fox River* disponível em: <<http://geosyntheticsmagazine.com>> acessado em 06 de novembro de 2011.

GUERRA, R.C *Caracterização e Biodegradação de lodo de estações de tratamento de água para descarte em aterro sanitário*. Dissertação de Mestrado, UNESP, Rio Claro, SP, Brasil, 2005.

GUIMARÃES, N.C. *Recuperação de coagulante a partir da acidificação de resíduos gerados na Estação de Tratamento de Água do Rio Manso*. Dissertação de Mestrado, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2005.

GUIMARÃES, N. C., PÁDUA, V L., *Avaliação de parâmetros físico-químicos para recuperação de sulfato de alumínio dos resíduos gerados em uma estação de tratamento de água*, In CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, Campo Grande – MS, 2005

HOPPEN, C.; PORTELLA, K. F.; ANDREOLI, C. V.; SALES, A.; JOUKOSKI, A.; *Estudo de incorporação do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna em matrizes de concreto, com dosagem de 3%*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 22, Joinville – SC, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*, Rio de Janeiro, 2008 p. 219

KERBER, D. D. *Alternativa de contenção e desidratação natural de lodo da ETA do Passaúna (Curitiba – PR) através de contenção por Geobag* In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS INTEGRADAS DA UNAERP campus Guarujá - 2008

KIWA Keurings Instituut Voor Waterleidingartikelen. *Slib, Schlamm, Sludge*. Cooperative research report. Denver: AWWARF, p. 308 1990

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. 3. Ed. Editora Átomo, Campinas: SP p. 495, 2010

MACHADO L. C. G .T; PONTE M. X; LOPES L. N. A; PEREIRA J. A. R; *Utilização de resíduo de ETA como insumo agrícola*, In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23. Campo Grande – MS, 2005

MEGDA, C. R, SOARES, L. V., ACHON, C. L, *Proposta de aproveitamento de lodo gerados em ETAs*, In CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23. Campo Grande – MS, 2005.

MENDES R. L, *Adensamento e desaguamento mecânicos de lodos gerados em estações de tratamento de água*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, 2001

MENDES R. L.; FERREIRA FILHO S. S.; SCIAN J. B.; *Desaguamento mecânico por filtro prensa de placas de lodos gerados em estações de tratamento de água* In CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21. João Pessoa, 2001.

MINAS GERAIS, *Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01*, Classificação dos corpos de água e padrões de lançamento de efluentes. Belo Horizonte, 05 de maio de 2008.

NETO LAPERULA, J. *Estudo do uso de lodo de estações de tratamento de água e de esgoto urbanos nas propriedades químicas do solo*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista -Botucatu, SP 2006.

PAIXÃO L. C. C, YOSHIMURA H. N., ESPINOSA D. C. R., TENORIO J. A. S., *Efeito da incorporação de lodo de ETA contendo alto teor de ferro em cerâmica argilosa*, Cerâmica 54, p 63-76, 2008.

PONTE, H. A, RIBEIRO, R. A. C, MYMRINE, V., JUNIOR V. M. T *Utilização de lodo de ETA no desenvolvimento de novos compostos cerâmicos* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17, Foz do Iguaçu, PR, 2006.

PORTELLA, K.F.; ANDREOLI, C.V.; HOPPEN, C.; SALES, A. BARON, O. *Caraterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna – Curitiba – Pr.* In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22. Joinville – SC 2003.

PREFEITURA DE ITAGUARA, *Trajetória da água em Itaguara*. Disponível em: <<http://www.itaguara.mg.gov.br/prefeitura/?action=saae>> Acesso em: 20 de outubro de 2011

REALI, M. A .P *Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água*. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 240 p. Projeto PROSAB.

RICHTER, C. A. *Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água*. 1º ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. 102p.

ROSARIO, C. G. A. *Avaliação da disposição de lodo gerado numa estação de tratamento de água em reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo (UASB)*, Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, 2007

SANEPAR, *Projeto de Recuperação de área degradada com utilização de lodo de estação de tratamento de água (ETA)*, Memorial Descritivo, 2010

SILVA, É. T.; MELO, W. J. ; TEIXEIRA, S. T. *Chemical attributes of a degraded soil after application of water treatment sludges*. Scientia Agricola, Piracicaba, v. 62, n. 6, p. 559-563, 2005.

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*. Cerâmica 54, p. 351-355, 2008.

TECITEC - Tecidos Industriais Ltda. Imagem Disponível em: <<http://www.tecitec.com.br>> Acesso em: 10 de agosto de 2011

TEIXEIRA, S. T. ; MELO, W. J. ; SILVA, e T . *Heavy metals in a degraded soil treated with sludge from water treatment plant*. Scientia Agricola, Piracicaba, SP, v. 62, n. 5, p. 498-501, 2005.

TEIXEIRA, S. R.; SOUZA, S. A; SOUZA, N. R.; ALÉSSIO, P.; SANTOS, G. T. A. *Efeito da adição de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades de material cerâmico estrutural*. Cerâmica. vol.52, p. 215-220, 2006.

YUZHU, W. *Condicionamento de lodo de estação de tratamento de água: estudo de caso*. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica – USP. São Paulo, SP. 1996.

WOLFF, Eliane. *O uso do lodo de Estação de Tratamento de Água e Resíduos da Indústria de celulose (dregs, grits, e lama de cal) na produção de cerâmica vermelha.* Tese de Doutorado, UFMG, Belo Horizonte, 2008