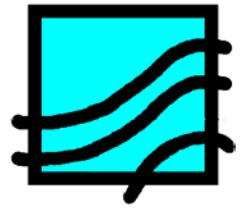




UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana



**SISTEMA DE LEITO DE DRENAGEM E
SEDIMENTADOR COMO SOLUÇÃO PARA REDUÇÃO
DE VOLUME DE LODO DE DECANTADORES E REUSO
DE ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS
- ESTUDO DE CASO – ETA CARDOSO -**

ANTONIO OSMAR FONTANA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**Sistema de Leito de Drenagem e Sedimentador como Solução para
Redução de Volume de Lodo de Decantadores e Reuso de Água de
Lavagem de Filtros**
- Estudo de Caso – ETA Cardoso -

ANTONIO OSMAR FONTANA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana do Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientador: Prof. Dr. João Sérgio Cordeiro

São Carlos
2004

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

F679sl

Fontana, Antonio Osmar.

Sistema de leito de drenagem e sedimentador como solução para redução de volume de lodo de decantadores e reuso de água de lavagem de filtros – estudo de caso – ETA Cardoso / Antonio Osmar Fontana. -- São Carlos : UFSCar, 2005.

161 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2004.

1. Engenharia ambiental. 2. Lodo. 3. Água clarificada. 4. Leito de drenagem. 5. Sedimentador. 6. Reuso. I. Título.

CDD: 628 (20^a)



FOLHA DE APROVAÇÃO

ANTONIO OSMAR FONTANA

Dissertação defendida e aprovada em 27/02/2004
pela Comissão Julgadora

Prof. Dr. João Sergio Cordeiro
Orientador (DECiv/UFSCar)

Prof. Dr. Sidney Seckler Ferreira Filho
(Escola Politécnica/USP)

Prof. Dr. Nemésio Neves Batista Salvador
(DECiv/UFSCar)

Prof. Dr. Ioshiaqui Shimbo
Presidente da CPG-EU

*À minha esposa Sylvania e
aos meus filhos Leonardo e Gustavo que
souberam compreender a minha ausência
em momentos importantes de suas vidas.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde e perseverança na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. João Sérgio Cordeiro pela sua dedicação na orientação de meus estudos.

À secretária Sonia Moreira Guimarães pela amizade e seus préstimos na regularização documental.

Aos colaboradores da Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp que de forma direta ou indireta se dedicaram para a implantação e monitoramento do objeto desse estudo.

À MACCAFERRI pela doação das mantas de drenagem, elemento fundamental na pesquisa.

À NETZSCH DO BRASIL pela doação de equipamento de bombeamento.

Ao GRUPO FORT ENGENHARIA pela contribuição com desenhos e identificação da obra.

À CERÂMICA UBARANA pela contribuição nos ensaios para incorporação dos sólidos em argila para fabricação de blocos cerâmicos.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da UFSCar que contribuíram com meu aprendizado.

A todos os funcionários e colegas da UFSCar com quem convivi.

RESUMO

Os sistemas de abastecimento utilizam, na maioria, as Estações de Tratamento de Água (ETAs) convencionais. Essas estações utilizam em seu processo de coagulação sais de ferro ou de alumínio e produzem resíduos (lodos), principalmente, nos decantadores e filtros. Os resíduos produzidos podem ser tóxicos ao homem e normalmente são dispostos sem nenhum tipo de tratamento no meio ambiente causando poluição. Apresentam característica fluida com baixos teores de sólidos e grande quantidade de água. Essa característica dificulta seu manejo para transporte e disposição adequada. A ETA Cardoso, se enquadrava no perfil de poluidora lançando seus resíduos sem tratamento diretamente no corpo d'água existente nas proximidades. Como solução para este problema foi implantado um sistema constituído de Leito de Drenagem para os lodos de decantadores e Sedimentador para as águas de lavagem de filtros. O sistema foi construído na própria área da ETA. O Leito de drenagem é constituído de um tanque em alvenaria e meio drenante com camada suporte de brita recoberto com manta geotextil. A massa final de sólido do lodo desaguado apresentou condição suficiente para manejo de retirada, transporte e disposição. O drenado foi encaminhado ao Sedimentador para reuso. Apresentou grande redução de turbidez, sólidos e DQO. O sistema foi projetado para um período de utilização inferior a 30 dias. O Sedimentador é constituído de um tanque em fibra de vidro instalado em posição que possa receber também o drenado do leito de drenagem. A água clarificada do Sedimentador e o drenado do Leito de Drenagem são recirculadas para o início da ETA. Os sólidos sedimentados no Sedimentador são bombeados para o Leito de Drenagem juntamente com o lodo de decantador. A operação do sistema demanda pouca mão de obra e equipamentos. A pesquisa realizada teve como objetivo projetar e analisar o comportamento do Leito de Drenagem, de acordo com o protótipo desenvolvido na pesquisa do PROSAB 2 – Tema IV, integrado com o Sedimentador. Essa tecnologia integrada se apresenta como solução efetiva para a grande maioria de ETAs com disponibilidade de área. É recomendado que sempre seja implantado o sistema (Leito de Drenagem e Sedimentador) em arranjos convenientes para cada ETA. A redução da área do Leito de Drenagem é função de estudos para lançamento da água clarificada dos decantadores diretamente para os filtros.

Palavras chave: lodo; tecnologia integrada; leito de drenagem; sedimentador; drenado; reuso; água clarificada.

ABSTRACT

Water supply systems utilize, in most cases, conventional Water Treatment Plants (WTPs). These plants use alum and ferric salts in their coagulation process, and produce residues (sludge) mainly in filter systems and decanter tanks. The produced residues may be toxic to man and are usually disposed of on environment without any kind of treatment, therefore causing pollution. They present fluid characteristic with low solid content and great amount of water. Such characteristic hampers its transportation and proper disposal. The Cardoso plant used to fit the profile of pollutant, dumping its untreated sludge directly into a nearby stream. As a solution to this problem a system with a drainage bed for the sludge from decanter tank and a sedimentation tank for the backwash water from filters have been built. The system was built within the plant area itself. The drainage bed consists of a brick tank with a gravel layer support coated with a geotextile. The solid mass from the dewatered sludge showed adequate conditions as far as characteristics necessary for its final transportation and proper disposal. The water drained from sludge (effluent) is sent to the sedimentation tank. The turbidity, solids and COD were greatly reduced. The system was designed for a less than 30 days utilization period. The sedimentation tank consists of a fiberglass vase installed in a position that allows it to also receive the effluent from the drainage bed. The clarified water is recirculated to the influent of the water treatment plant and the solids are pumped to the drainage bed together the sludge from decanter tank. The system's operation does not require much labor and equipment. The aim of the research carried out was to design and analyze the drainage bed behavior according to prototype developed in the PROSAB 2 research –Tema IV, integrated with Sedimentation Tank. Such integrated technology is an effective solution for the great majority of Water Treatment Plants with available areas. It is recommended that such system (Drainage bed and Sedimentation Tank) to be implemented should be always arranged to properly each individual Water Treatment Plant. Further studies should be also made on alternative of throwing clarified water straight from decanter tank to filters before dumping the sludge into drainage bed.

Keywords: sludge; integrated technology; drainage bed; dewatered; sedimentation tank; clarified water.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 Classificação das tecnologias de tratamento de água destinada ao consumo humano (DI BERNARDO, 1995).....	19
FIGURA 3.2 Ciclo genérico da água em sistemas públicos de abastecimento com captação superficial.....	24
FIGURA 3.3 Esquema de ETA convencional ou de ciclo completo com lançamento de resíduos diretamente em corpos d'água.....	25
FIGURA 3.4 Resíduos gerados em ETAs: decantadores, filtros e preparo de produtos químicos.....	28
FIGURA 3.5 Correlação entre sólidos em suspensão e turbidez, para uma fonte de água bruta com baixos valores de cor (CORNWELL, 1987).....	36
FIGURA 3.6 Variação das quantidades de sólidos secos produzidos na ETA Guaraú/SP.....	40
FIGURA 3.7 Fluxograma de ETA convencional – vazões afluentes e efluentes.....	41
FIGURA 3.8 Equipamentos para determinar a topografia da camada de lodo depositada em decantadores.....	44
FIGURA 3.9 Sistema de sucção e descarga de lodo de decantadores.....	49
FIGURA 3.10 Corte esquemático de leito de secagem.....	71
FIGURA 3.11 Esquemas ilustrativos dos sistemas de leitos de secagem tradicionais e modificados por CORDEIRO (1993 e 2000).....	72
FIGURA 3.12 Avaliação do coeficiente de perda de carga, K_p , para transporte de lodo de ETAs.....	75
FIGURA 4.1 Área de contribuição da bacia de captação e de lançamento.....	81
FIGURA 4.2 Característica de Cor e Turbidez para os anos de 2001 a 2003.....	82
FIGURA 4.3 Variações sazonais da Turbidez média mensal - 2000 a 2003.....	83
FIGURA 4.4 Dosagens médias mensais de Sulfato de Alumínio em relação a Turbidez - 2000 e 2003.....	87
FIGURA 4.5 Consumo mensal de Sulfato de Alumínio, em kg - 2002 e 2003.....	87
FIGURA 4.6 Decantadores convencionais ETA Cardoso.....	88
FIGURA 5.1 Área ocupada pela ETA – Cardoso com <i>lay-out</i> das estruturas e do sistema de tratamento de resíduos.....	93
FIGURA 5.2 Protótipo de Leito de Drenagem desenvolvido por CORDEIRO (2001).....	94
FIGURA 5.3 Interface da camada clarificada e o lodo no processo de descarga.....	95
FIGURA 5.4 Protótipo carregado com lodo de decantador.....	96
FIGURA 5.5 Coleta de água de lavagem de filtro para ensaios e análises.....	97
FIGURA 5.6 Diagrama dos pontos de coleta das amostras.....	98
FIGURA 5.7 Coleta de água do Córrego Tomazinho junto ao ponto de lançamento e aspecto visual da água.....	99
FIGURA 5.8 Equipamento “AMOSTRADOR” para medição da altura da camada de lodo no decantador.....	101
FIGURA 6.1 Variação da altura da massa de sólidos e do volume drenado, com variação ao longo do tempo, no protótipo do Leito de Drenagem.....	115
FIGURA 6.2 Aspecto do lodo aplicado no protótipo de Leito de Drenagem após drenagem da água livre.....	117
FIGURA 6.3 Correlação entre os volumes e tempos para drenagem da ALAF no protótipo de Leito de Drenagem.....	118
FIGURA 6.4 Representação gráfica da camada de lodo no Decantador 1 – período de acumulação 12/05/03 a 10/06/03.....	120

FIGURA 6.5 Representação gráfica da camada de lodo no Decantador 2 – período de acumulação 03/04/03 a 10/06/03	121
FIGURA 6.6 Planta dos módulos do Leito de Drenagem.....	124
FIGURA 6.7 Estrutura em corte dos módulos do Leito de Drenagem	124
FIGURA 6.8 Diagrama de posicionamento das mantas de drenagem.....	125
FIGURA 6.9 Conjunto moto-bomba de recirculação das águas clarificadas no Sedimentador e do drenado (NETZSCH DO BRASIL, 2004)	128
FIGURA 6.10 Ilustração esquemática do condicionamento da ALAF e do drenado, recirculação e destinação dos sólidos do Sedimentador.	128
FIGURA 6.11 Representação gráfica da camada de lodo no decantador nº 1 - período de acumulação 11/06/03 a 18/09/03	130
FIGURA 6.12 Representação gráfica da camada de lodo no decantador nº 1 - período de acumulação 19/09/03 a 17/11/03	131
FIGURA 6.13 Representação gráfica da camada de lodo no decantador nº 1 - período de acumulação 18/11/03 a 06/01/04	131
FIGURA 6.14 Representação gráfica da camada de lodo no decantador nº 2 - período de acumulação 11/06/03 a 16/10/03	132
FIGURA 6.15 Representação gráfica da camada de lodo no decantador nº 2 - período de acumulação 17/10/03 a 16/12/03	132
FIGURA 6.16 Camada de lodo após lançamento da água clarificada para os filtros... 133	
FIGURA 6.17 Descarga da camada de lodo e limpeza final do decantador.....	133
FIGURA 6.18 Variação da altura da massa de sólidos no leito, combinada com dados de precipitação e evaporação - 18/11/03 a 16/12/03.....	135
FIGURA 6.19 Variação da altura da massa de sólidos no leito, combinada com dados de precipitação e evaporação - 16/12/03 a 06/01/04.....	136
FIGURA 6.20 Variação da altura da massa de sólidos, combinada com dados de precipitação e evaporação - 06/01/04 a 04/02/04.....	137
FIGURA 6.21 Variação dos teores de sólidos na massa residual no leito, através do tempo – períodos 16/12/03 a 06/01/04 e 06/01/04 a 04/02/04.....	139
FIGURA 6.22 Operação de retirada manual dos sólidos do Leito de Drenagem.....	140
FIGURA 6.23 Retirada manual dos sólidos do Leito de Drenagem com uso de pás ...	141
FIGURA 6.24 Aspecto das mantas após retirada dos sólidos e o método de limpeza com vassoura preparando para nova utilização.....	141
FIGURA 6.25 Aspecto das mantas após retirada dos sólidos em que não houve limpeza com vassoura estando preparada para nova utilização.....	142
FIGURA 6.26 Característica do drenado, quanto a pH e turbidez, na quinta utilização do jogo de mantas, através do tempo	143
FIGURA 6.27 Característica visual das coletas para análise do drenado, quanto a pH e turbidez, na quinta utilização do jogo de mantas	144
FIGURA 6.28 Camada de lodo de ALAF sedimentado em condições de ser recalado para o Leito de Drenagem	146
FIGURA 6.29 Sistema de recalque da água clarificada do Sedimentador para o início da estação	147
FIGURA 6.30 Característica visual dos corpos de prova cerâmicos com lodo da ETA Cardoso incorporado	152

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 Parâmetros a serem considerados quando da escolha de uma tecnologia de tratamento.....	21
TABELA 3.2 Principais constituintes de afluentes de ETAs convencionais.....	29
TABELA 3.3 Principais constituintes de efluentes de ETAs convencionais.....	29
TABELA 3.4 Variáveis físico-química para o lodo das ETAs São Carlos, Araraquara e Rio Claro	30
TABELA 3.5 Parâmetros restritivos de lançamento de efluentes comparados com resíduos de ETAs brasileiras.....	54
TABELA 3.6 Dados operacionais de espessadores de lodo por flotação em ETA	60
TABELA 3.7 Horas-homen/ano para operação e manutenção de lagoas.....	69
TABELA 3.8 Características das mantas geotexteis utilizadas nos experimentos realizados por CORDEIRO (2001)	72
TABELA 4.1 Características da água bruta – 2001 e 2003	81
TABELA 4.2 Concentração solução de Sulfato de Alumínio granular (20° a 24°C)	85
TABELA 4.3 Dosagem do Sulfato de Alumínio em função da turbidez.....	85
TABELA 4.4 Resultados de Análises de Toxicidade (mg/Kg)	86
TABELA 6.1 Características dos lodos de decantadores das ETA Cardoso; ETA Rio Claro e ETA São Carlos	111
TABELA 6.2 Qualidade das águas do Córrego Tomazinho após o lançamento do lodo de decantador da ETA – Cardoso.....	112
TABELA 6.3 Características da ALAF da ETA Cardoso e ETA São Carlos	113
TABELA 6.4 Variação da altura da massa de sólidos e do volume drenado no protótipo de Leito de Drenagem	114
TABELA 6.5 Características do drenado resultante da aplicação do lodo de decantador da ETA Cardoso no protótipo de Leito de Drenagem.....	116
TABELA 6.6 Características da ALAF da ETA Cardoso e do drenado resultante da aplicação no Protótipo de Leito de Drenagem	119
TABELA 6.7 Volumes de lodo medidos fisicamente para os Decantadores 1 e 2.....	120
TABELA 6.8 Volume máximo estimativo de lodo para projeto e dimensionamento do Leito de Drenagem.....	122
TABELA 6.9 Características das mantas de drenagem geotexteis.....	125
TABELA 6.10 Custo de implantação do Leito de Drenagem na ETA Cardoso.....	126
TABELA 6.11 Vazões mensais de ALAF para os anos de 2002 e 2003.....	127
TABELA 6.12 Custo de implantação do Sedimentador na ETA – Cardoso	129
TABELA 6.13 Altura da camada e volume de lodo nos decantadores.....	130
TABELA 6.14 Características do lodo de decantador e drenado do Leito de Drenagem – 16/12/03 e 06/01/04	134
TABELA 6.15 Variação da altura da massa de sólidos no leito, combinada com dados de precipitação e evaporação – período 18/11/03 a 16/12/03	135
TABELA 6.16 Variação da altura da massa de sólidos no leito, combinada com dados de precipitação e evaporação – período 16/12/03 a 06/01/04	136
TABELA 6.17 Variação da altura da massa de sólidos no leito, combinada com dados de precipitação e evaporação – período 06/01/04 a 04/02/04	137
TABELA 6.18 Variação dos teores de sólidos na massa residual no leito – períodos 16/12/03 a 06/01/04 e 06/01/04 a 04/02/04	139
TABELA 6.19 Seqüência de operações e demanda de mão de obra e equipamentos ..	140
TABELA 6.20 Característica do drenado, quanto a turbidez e pH, na quinta utilização do jogo de mantas no Leito de Drenagem.....	143

TABELA 6.21 Características da água de recirculação e do lodo sedimentado.....	145
TABELA 6.22 Resultados analíticos do SOLUBILIZADO da amostra de sólidos residuais do Leito de Drenagem.....	148
TABELA 6.23 Resultados analíticos do LIXIVIADO da amostra de sólidos residuais do Leito de Drenagem.....	149
TABELA 6.24 Resultados analíticos da MASSA BRUTA da amostra de sólidos residuais do Leito de Drenagem.....	150
TABELA 6.25 Características cerâmicas dos corpos de prova com mistura de lodo da ETA Cardoso.....	152
TABELA 6.26 Resultado da análise econômica do investimento no sistema de tratamento de resíduos da ETA Cardoso.....	153

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	16
3 EMBASAMENTO TEÓRICO	17
3.1 Aspectos Gerais	17
3.2 Sistema de tratamento convencional ou de ciclo completo	24
3.2.1 <i>Características gerais dos resíduos de ETA</i>	27
3.2.1.1 <i>Origem dos resíduos de ETA de ciclo completo</i>	27
3.2.1.2 <i>Característica qualitativa de lodos de ETA</i>	30
3.2.1.3 <i>Característica quantitativa de lodos de ETA</i>	32
3.2.1.4 <i>Métodos de quantificação da produção global de lodo em ETA</i>	33
3.2.1.4.1 <i>Método de Cálculo – Equações empíricas</i>	34
3.2.1.4.2 <i>Método do balanço de massa</i>	41
3.2.1.4.3 <i>Medição física de volume de lodo de decantador em ETA</i>	43
3.2.2 <i>Influência da operação da ETA na característica dos resíduos</i>	45
3.2.2.1 <i>Controle de perdas no processo de tratamento em ETA</i>	45
3.2.2.2 <i>Influência da operação dos Decantadores</i>	47
3.2.2.3 <i>Influência da operação dos Filtros</i>	50
3.3 Aspectos da legislação ambiental sobre resíduos de ETA	52
3.4 Alternativas de tratamento dos resíduos de Estações de Tratamento de Água	55
3.4.1 <i>Espessamento de lodos de ETA</i>	56
3.4.1.1 <i>Espessamento por gravidade (Sedimentadores)</i>	57
3.4.1.2 <i>Espessamento por flotação por ar dissolvido (FAD)</i>	58
3.4.2 <i>Desaguamento mecânico</i>	60
3.4.2.1 <i>Centrífugas</i>	61
3.4.2.2 <i>Filtro Prensa de placas</i>	64
3.4.2.3 <i>Filtro Prensa de esteiras</i>	65
3.4.2.4 <i>Filtro a vácuo</i>	66
3.4.3 <i>Sistemas naturais de remoção de água de lodo</i>	67
3.4.3.1 <i>Lagoas de lodo ou de secagem</i>	67
3.4.3.2 <i>Leitos de Secagem</i>	70
3.4.3.3 <i>Condições de transporte do lodo</i>	74
3.5 Recuperação da água de lavagem de filtro	76
3.6 Análise crítica sobre o problema dos lodos de ETA	78
4 OBJETO DE ESTUDO – SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CARDOSO / SP	80
4.1 Manancial	80
4.2 Captação	83
4.3 Estação de Tratamento de Água	83
5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	90
5.1 Considerações iniciais	90
5.2 Etapas de desenvolvimento dos trabalhos	91
5.3 Caracterização física e cadastral da área da ETA Cardoso	92
5.4 Coleta, aplicação e monitoramento do protótipo com resíduos de Decantador e água de lavagem de filtros e suas caracterizações qualitativas	93

5.4.1 Resíduos de Decantadores	94
5.4.2 Águas de lavagem de filtros	96
5.4.3 Coleta de amostras dos resíduos, dos drenados e das águas do corpo receptor	97
5.5 Procedimentos e métodos para estimativa de produção dos resíduos de Decantadores e de Filtros	99
5.5.1 Estimativa de volume de Lodo dos Decantadores (LETA).....	100
5.5.2 Estimativa de volume de água de lavagem de filtros (ALAF)	103
5.6 Procedimentos para projeto e construção do sistema de tratamento dos resíduos da ETA Cardoso.....	104
5.7 Procedimentos para operação e monitoramento do sistema de tratamento de resíduos	105
5.7.1 Leito de Drenagem para lodo de decantador.....	105
5.7.2 Classificação dos sólidos residuais do Leito de Drenagem pela NBR 10004 (ABNT)	107
5.7.3 Sedimentador para águas de lavagem de filtros	108
5.8 Procedimentos para análise econômica do sistema de tratamento dos resíduos da ETA Cardoso.....	110
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	111
6.1 Resultados das análises físico-químicas dos resíduos da ETA Cardoso e avaliação dos impactos no corpo receptor.	111
6.1.1 Resultado de análise físico-química de lodo de Decantador	111
6.1.2 Resultado das análises físico-químicas das Águas de lavagem de filtros.....	113
6.2 Monitoramento do protótipo com resíduos da ETA Cardoso.....	114
6.2.1 Resultados da aplicação do lodo de decantador no protótipo de Leito de Drenagem.....	114
6.2.2 Resultados da aplicação da água de lavagem de filtros no protótipo de Leito de Drenagem	117
6.3 Projeto e construção do sistema de tratamento de resíduos da ETA Cardoso	119
6.3.1 Dimensionamento e projeto do Leito de Drenagem.....	119
6.3.1.1 Resultados da quantificação de lodo dos decantadores para projeto do leito.....	119
6.3.1.2 Dimensões do Leito de Drenagem.....	122
6.3.1.3 Construção do Leito de Drenagem.....	123
6.3.1.3.1 Custo de Implantação do Leito de Drenagem.....	126
6.3.2. Dimensionamento do Sedimentador.....	126
6.3.2.1 Vazões de água de lavagem de filtro	126
6.3.2.2 Construção do Sedimentador	127
6.3.2.2.1 Custo de implantação do Sedimentador.....	129
6.4 Operação e monitoramento do sistema de tratamento de resíduos da ETA Cardoso	129
6.4.1 Leito de Drenagem para lodos de decantadores.....	129
6.4.1.1 Resultados relativos a volumes de lodo nos decantadores.....	129
6.4.1.2 Resultados relativos às características do lodo de decantador e drenado do leito.....	134
6.4.1.3 Resultados relativos à variação de altura da massa de sólidos residual no leito.....	134
6.4.1.4 Resultados relativos à variação de teor de sólidos na massa residual no leito.....	138

6.4.1.5 Resultados relativos à operação do Leito de Drenagem.....	140
6.4.2 Sedimentador para as águas de lavagem de filtros	144
6.4.2.1 Resultados relativos às características da água de recirculação e do lodo sedimentado	144
6.4.2.2 Resultados relativos aos volumes de lodo no Sedimentador e da água de lavagem de filtros	145
6.4.2.3 Resultados relativos à operação do Sedimentador	146
6.5 Resultado da análise dos sólidos residuais do Leito de Drenagem para Classificação de Resíduos Sólidos (NBR 10004/87).....	148
6.6 Resultados da mistura dos resíduos sólidos da ETA Cardoso em argila para fins cerâmicos como solução para disposição adequada	151
6.7 Resultados da análise econômica do sistema de tratamento dos resíduos da ETA Cardoso	153
7 CONCLUSÕES	154
8 RECOMENDAÇÕES	157
9 BIBLIOGRAFIA.....	159

1 INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Água (ETAs) são unidades fundamentais para garantir que a qualidade da água seja compatível com o seu uso. O grau de tratamento e a tecnologia recomendada variam em função da finalidade a que se destina e das características da água da fonte de captação. A água tratada pode ser para fins potáveis em sistemas públicos de abastecimento ou para as mais diversas aplicações dos setores industrial, comercial ou de serviços.

Os sistemas públicos de abastecimento, no Brasil, fazem uso, na sua maioria, de estações para tratamento de águas superficiais. Em função da qualidade das águas superficiais a tecnologia mais utilizada é a combinação dos processos de coagulação, floculação, decantação e filtração. Esse sistema é chamado de convencional ou de ciclo completo. No processo de coagulação são utilizados sais de ferro ou de alumínio para remoção de materiais na forma de partículas finas e em solução presentes na água bruta.

O processo utilizado nessas estações assemelha-se a qualquer processo industrial. A água bruta captada (matéria-prima) recebe produtos químicos (sais de ferro e alumínio, cal, cloro, polímeros, etc.) tendo como produto final a água potável. Todo processo industrial de transformação de matéria prima gera resíduos. No caso das ETAs os resíduos, chamados de lodos, podem ser tóxicos ao homem e ao meio ambiente, principalmente pela presença de metais e devem receber cuidados especiais quanto a sua disposição.

No Brasil, segundo PARSEKIAN, (2000), existem cerca de 7500 Estações de Tratamento de Água e a maioria utiliza o processo convencional de

tratamento e lançam seus resíduos nos corpos d'água mais próximos sem nenhuma preocupação de tratamento.

Atualmente, a prática do descarte de poluentes de qualquer natureza no meio ambiente está sendo coibida na forma da lei estando em formação uma cultura de preservação da natureza cuja amplitude orienta toda e qualquer atividade, principalmente aquelas envolvidas diretamente com o meio ambiente, como é o caso do saneamento básico. A Lei Federal 9605/98 se constitui em um desses instrumentos.

Por esses motivos, a adequação para disposição dos resíduos provenientes de tratamento de água deve ser repensada.

Os resíduos de ETA possuem características próprias e apresentam grande umidade, geralmente maior que 95%, estando de maneira geral na forma fluida. Trabalhar esses resíduos tem como objetivo a redução de seu volume para adequação ao transporte e destinação final sem provocar danos ao meio ambiente.

Os métodos alternativos de adequação dos lodos de ETA para disposição mais usuais são apresentados como: mecânicos, através de centrífugas, prensas desaguadoras, filtração a vácuo; meios naturais, através de lagoas de lodo e leitos de secagem.

Entre esses métodos, os leitos de secagem tradicionais constituídos de meio filtrante em camadas de brita e areia com espessuras variando de 0,3 a 0,4m, foram estudados por CORDEIRO (1993 e 2001), que apresentou modificações na estrutura filtrante com o objetivo de aumentar a velocidade de drenagem. A evolução resultou num leito em que foi substituída a camada de areia por manta geotextil. Como os resultados foram promissores, o novo leito passou a ser denominado de Leito de Drenagem.

Esse sistema foi utilizado em escala de laboratório e piloto, necessitando de avaliações mais profundas quanto ao seu funcionamento em escala real.

O desenvolvimento de estudos sobre este sistema, em escala real, é de fundamental importância para avaliação de parâmetros de projeto, características construtivas e condições operacionais. A viabilidade desse método proporciona grandes ganhos ambientais, por minimizar os lançamentos de resíduos de ETA na natureza, e a possível reutilização da água livre.

Estas condições reduzem, além dos custos de transporte para destinação final, também outros custos que podem ser gerados às organizações responsáveis pelos sistemas de saneamento, como: necessidades de reparação do meio ambiente; processos de responsabilidade civil; multas dos órgãos ambientais e forte desgaste de sua imagem corporativa.

Assim, os gestores do saneamento devem observar seus procedimentos de forma mais abrangente capazes de melhorar a qualidade de vida sem causar prejuízos a natureza. Os novos projetos, bem como suas adequações, devem incluir soluções que apresentem sistemas efetivos de tratamento dos resíduos gerados em suas instalações sem poluir o meio ambiente.

2 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo o estudo e avaliação de uma tecnologia integrada para redução de volume dos lodos de decantadores e de água de lavagem de filtros através de um sistema de **Leito de Drenagem e Sedimentador**. Foram considerados os seguintes aspectos:

- Escolha de ETA convencional com estrutura e área disponível para implantação do Leito de Drenagem e do Sedimentador;
- Avaliação de desempenho em escala piloto, possibilitando a análise de dados para projeto de Leito de Drenagem;
- Projeto e implantação do Leito de Drenagem, em escala real, e do Sedimentador;
- Avaliação operacional do desempenho do Leito de Drenagem quanto à redução de volume de lodo e possibilidade de reuso da água livre;
- Avaliação operacional do desempenho do Sedimentador quanto à recirculação da água clarificada e descarte dos sólidos sedimentados;
- Avaliação da redução dos volume dos sólidos no Leito de Drenagem;
- Classificação dos sólidos residuais do Leito de Drenagem pela Norma da ABNT, NBR 10004/87.
- Avaliação econômica do sistema.

3 EMBASAMENTO TEÓRICO

São vários os trabalhos técnicos e científicos e vasta a literatura discorrendo sobre Estações de Tratamento de Água, porém, poucos tratam especificamente do tema tratamento e destinação dos resíduos provenientes dos processos de tratamento de água.

No Brasil, existe pouca experiência sobre o problema, tanto em escala de laboratório como em escala real. Das cerca de 7500 ETAs existentes, menos de 10 possuem sistemas de remoção de água de lodo e/ou recuperação de água de lavagem de filtros. Segundo CORDEIRO (2003), nesses sistemas existem alguns problemas relacionados a questões operacionais, remoção da água livre e descarte adequado dos sólidos.

Através do PROSAB 2 – Tema IV, os lodos de sistemas de saneamento foram eleitos como estudo prioritário. Dentre as diversas pesquisas CORDEIRO (2001) apresentou os resultados com leitos de secagem modificados para aplicação de remoção de água livre de lodos de decantadores. Foram, ainda, recomendados aspectos de projeto, características construtivas e condições operacionais.

3.1 Aspectos Gerais

Tratar uma determinada água consiste em torná-la própria para utilização a que se destina. A tecnologia e o grau de tratamento requerido variam em função da finalidade do uso, seja para fins de consumo humano ou para as aplicações nos diversos setores produtivos que demandem água de boa qualidade.

A água destinada ao consumo humano deve atender a uma série de requisitos visando a proteção da saúde pública. Segundo a AWWA - American Water

Works Association (1998), deve preencher condições mínimas para que possa ser ingerida ou utilizada para fins higiênicos e ser livre de organismos capazes de causar doenças e substâncias minerais ou orgânicas que podem produzir efeitos fisiológicos adversos. Ela deve ser esteticamente aceitável, livre de turbidez, cor aparente e gosto e odor não objetáveis.

A água em seu estado natural pode não atender aos requisitos de qualidade para fins potáveis. Pode apresentar substâncias orgânicas, inorgânicas e organismos vivos que em função de suas quantidades e qualidades requerem desde simples tratamento até sistemas avançados de purificação.

Os mananciais, principalmente os superficiais, que são fonte da maioria dos sistemas de tratamento de água, vêm sofrendo com a poluição que modifica as suas características físicas, químicas e biológicas.

É importante, que o uso das soluções técnicas para tratamento esteja sempre associado à qualidade da água do manancial adotado. É natural que a solução mais racional recaia na melhor proteção e recuperação dos mananciais e na escolha das fontes que ofereçam água de melhor qualidade (CAMPOS, 1994).

Segundo DI BERNARDO (1995), para o sistema público de abastecimento de água com fins potáveis, as tecnologias podem ser divididas em dois grupos: aquele em que não é empregada a coagulação química e aquele em que o processo é imprescindível.

O tratamento sem coagulação química é conhecido como filtração lenta, podendo ser precedido ou não de unidades de pré-tratamento, dependendo da qualidade da água bruta a ser tratada.

Os processos de coagulação química são comumente aplicados em estações de tratamento de água para promover a agregação de substâncias dissolvidas e

de partículas pequenas em partículas maiores que podem ser removidas por sedimentação e/ou filtração. Portanto, a coagulação química tem papel importante na clarificação da água, pois dela depende a eficiência das operações subseqüentes.

A FIGURA 3.1 apresenta a classificação das tecnologias de tratamento de água destinada ao consumo humano (DI BERNARDO, 1995).

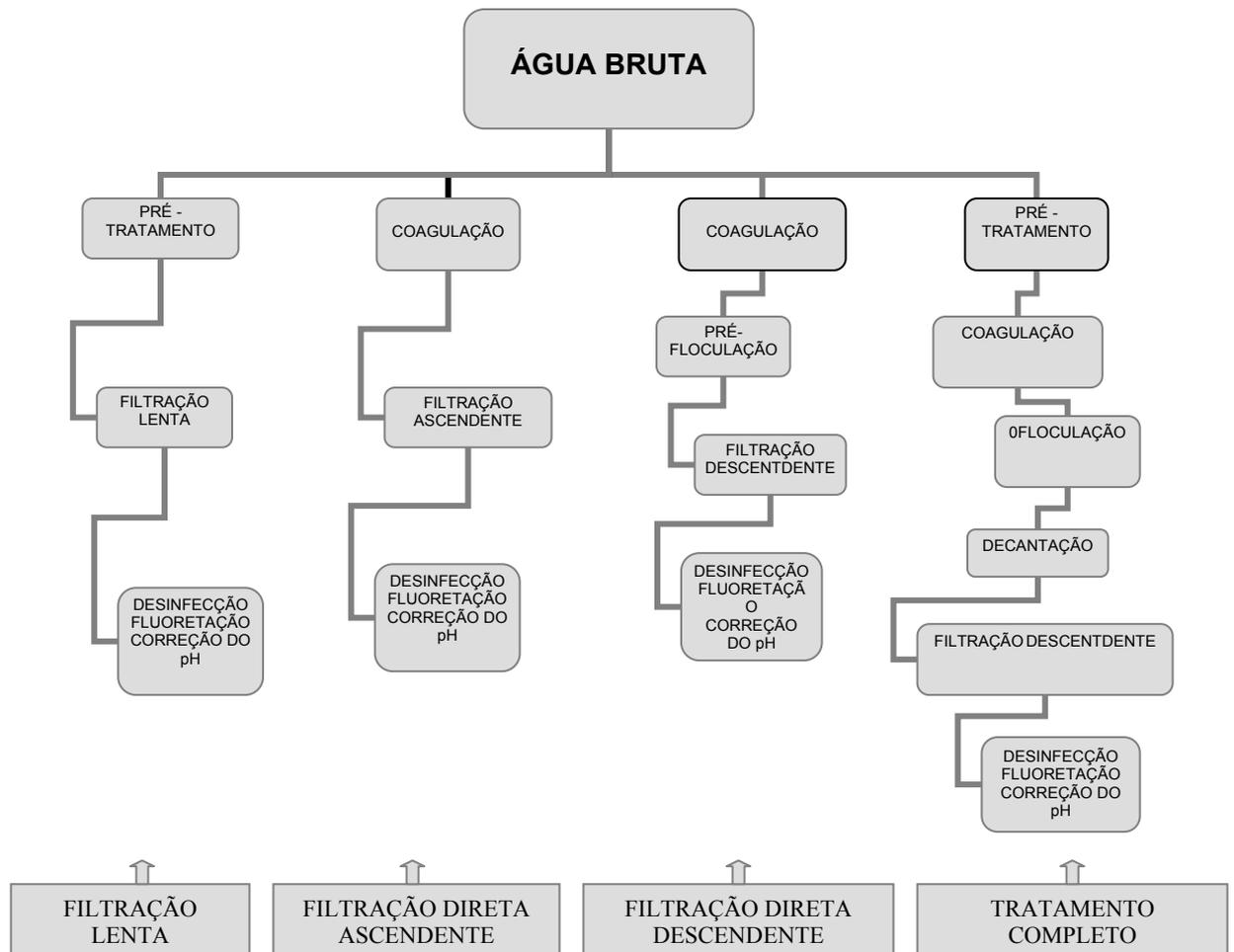


FIGURA 3.1 Classificação das tecnologias de tratamento de água destinada ao consumo humano (DI BERNARDO, 1995)

De maneira geral, os agrupamentos das tecnologias são definidos como arranjos lógicos de seqüências de processos e operações unitárias que fornecem as diretrizes para a concepção de um sistema de tratamento (MANCUSO, 2003, ASCE & AWWA,1998) e se apresentam como:

- Coagulação/Filtração: caracterizado como o sistema mais tradicional que tem como finalidade básica a remoção de cor e turbidez. Como processos unitários apresenta pré-sedimentação, oxidação, coagulação, floculação, clarificação por decantação ou por flotação, filtração e desinfecção. Outras seqüências podem derivar na supressão de alguns processos como na filtração direta ou por contato.
- Abrandamento por precipitação: as unidades de processo, em suas estruturas físicas, se assemelham aos do sistema coagulação/filtração. A finalidade básica do sistema é a remoção da dureza através da precipitação do carbonato de cálcio e/ou magnésio.
- Separação por membranas semi permeáveis: tecnologia bastante recente, compreende os processos de microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração, osmose reversa, pervaporação, *stripping*, destilação, diálise e eletrodialise.
- Troca iônica: remoção de substâncias inorgânicas, através de resinas catiônicas e aniônicas.
- Adsorção em carvão ativado granular: remoção de matéria orgânica e inorgânica, em leitos de carvão ativado.

A adoção de qualquer tecnologia de tratamento terá como resultado a água tratada e os resíduos gerados. A água tratada deve atender aos padrões de qualidade de modo a não comprometer a saúde da população. Os resíduos gerados, geralmente tóxicos, podem comprometer o homem e poluir o meio ambiente e, portanto, devem ser dispostos de maneira adequada.

MONTGOMERY (1985) citado por FERNANDES (2002), apresenta na TABELA 3.1 parâmetros de qualidade da água bruta que devem ser analisados para adoção de uma tecnologia de tratamento.

TABELA 3.1 Parâmetros a serem considerados quando da escolha de uma tecnologia de tratamento

Parâmetros de qualidade da água	Processos e componentes	Aplicabilidade	Comentários
Turbidez	<i>Filtração em linha</i> Coagulação Filtração	Turbidez baixa Cor baixa	Requer grande atenção da operação; menor carreira de filtração que com filtração direta e tratamento convencional; Instalações para tratamento e disposição de lodo talvez sejam requeridas; estudos em planta piloto talvez sejam necessários; baixo capital e custos com operação.
	<i>Filtração Direta</i> Coagulação Floculação Filtração	Turbidez baixa à moderada Cor baixa à moderada	Requer grande atenção da operação; instalações para tratamento e disposição de lodo talvez sejam requeridas; estudos em planta piloto talvez sejam necessários; baixo capital e custos com operação; melhor carreira de filtração que a filtração em linha, mas menor que o tratamento convencional.
	<i>Convencional</i> Coagulação Floculação Decantação Filtração	Turbidez moderada à alta Cor moderada	Tempo de detenção nos decantadores permite um tempo de contato adequado para remoção de gosto, odor e cor; maior flexibilidade operacional e requer menor atenção por parte da operação.
	<i>Microfiltração</i>	Remoção de material particulado grosseiro (ex. algas)	Processo depende de peneiramento mecânico; processo não pode atingir a qualidade de água desejada se usado sozinho.
Bactérias / Virus	<i>Desinfecção química</i> Cloro; Cloraminas; Dióxido de cloro; Ozônio; Outros Químicos (Bromo, Iodo, Permanganato de potássio)	Desinfecção de águas superficiais e subterrâneas	O potencial de formação de THM precisa ser avaliado; o tratamento com cloraminas não é tão potente quanto o cloro, mas elimina a formação de THM; custo de tratamento: $Cl_2 < \text{cloraminas} < \text{ozônio}$; outros químicos tais como bromo, iodo, etc., limitados à pequenas aplicações.

continua

continuação

	Desinfecção sem químicos Ultravioleta Ultrasom	Desinfecção de águas superficiais e subterrâneas	Vantagem do UV é que ele não deixa residual, o qual é também utilizado na desinfecção de aquários de peixes; ultrasom é um processo caro, algum êxito quando usado com ozônio em desinfecção terciária.
Cor	Coagulação	Alto nível de cor	Uso de alta dose de coagulante e baixo pH (5-6) é eficaz quando existe alto nível de cor.
	Adsorção CAG CAP Resina sintética	Nível de cor moderado à baixo	Vida útil do CAG é da ordem de 1 – 6 semanas; resinas sintéticas são caras (capital e custos de regeneração); CAP é usado para solucionar problemas de cor em curto prazo (porém é muito caro para ser usado como um método de rotina de controle de cor).
	Oxidação Cloro Ozônio Permanganato de potássio Dióxido de cloro	Baixo, consistente nível de cor	Eficácia: Ozônio > Cl ₂ > ClO ₂ > KMnO ₄ ; Cl ₂ e KMnO ₄ são tipicamente usados para outro propósito (desinfecção e controle de gosto e odor) mas são efetivos para controle de cor.
Gosto e odor	Controle da fonte Sulfato de cobre Reservatório Desestratificação	Usado para prevenir qualquer problema de gosto e odor na estação	O caminho mais satisfatório para a solução do problema é fazê-lo na fonte; o sulfato de cobre talvez requeira que a relação para certos valores de pH; Cloro pode resultar em aumento do problema de odor onde os odores são origem industrial ou algal; KMnO ₄ é amplamente usado e muito efetivo no controle de odor (porém, dose excessiva pode resultar em cor ligeiramente rosa); CAP, na forma de pó, é frequentemente adicionado ao processo de coagulação para níveis moderados de gosto e odor e antes de filtros para níveis baixos de gosto e odor; CAG é comumente usado para odores causados por fontes industriais – vida útil frequentemente muito longa.
	Oxidação Cloro; Ozônio; Permanganato de Potássio; Dióxido de cloro	Baixo nível de gosto e odor	
	Adsorção CAG CAP	Níveis baixo à moderado, CAG é utilizado para fontes de odores industriais.	

continua

conclusão

Dureza	<i>Abrandamento com soda-cáustica</i>	Águas extremamente duras	Método mais comum de remoção de dureza.
	<i>Troca iônica</i>	Remove não somente dureza, mas também constituintes seletivos	Muito caro, especialmente para uso em instalações de larga-escala.
Orgânicos THM	<p data-bbox="436 598 817 646"><i>Desinfetantes alternativos</i></p> <p data-bbox="436 646 817 758">Cloraminas Dióxido de cloro Ozônio</p> <p data-bbox="436 758 817 869"><i>Remoção de precursores</i> Dióxido de cloro; Ozônio; CAG; CAP; Coagulação.</p> <p data-bbox="436 869 817 1007"><i>Remoção de THM</i> Ozônio CAG CAP</p>	THM's	Cloraminas não são desinfetantes tão poderosos quanto o cloro livre; ozônio não oferece proteção residual no sistema de distribuição; modificação dos pontos de adição de cloro podem reduzir a formação de THM; CAP tem sido usado para produzir somente a remoção parcial e em doses muito elevadas.

Fonte: MONTGOMERY (1985), apud FERNANDES, (2002)

Segundo CORDEIRO (1999), a maioria dos sistemas de tratamento de água, no Brasil, utiliza o sistema de tratamento convencional ou de ciclo completo. Esse sistema, no entanto, agride o meio ambiente porque a quase totalidade, ainda lança seus resíduos nos corpos d'água mais próximos sem nenhum tratamento.

A FIGURA 3.2 ilustra o ciclo genérico da água nos sistemas públicos de abastecimento com captação superficial.

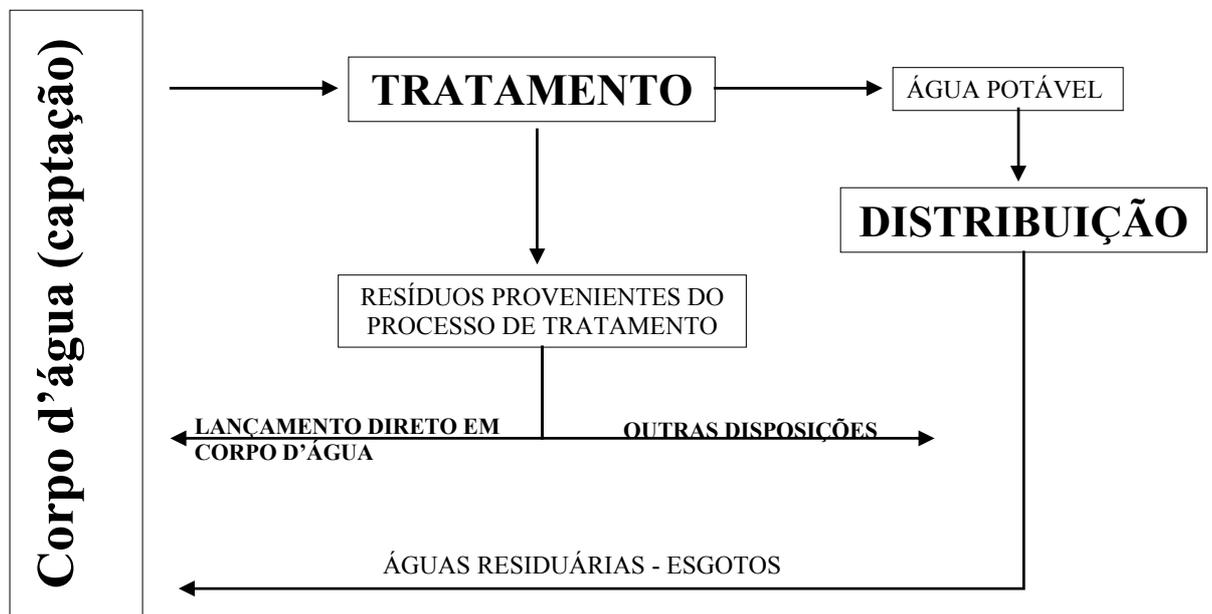


FIGURA 3.2 Ciclo genérico da água em sistemas públicos de abastecimento com captação superficial

3.2 Sistema de tratamento convencional ou de ciclo completo

Os sistemas de abastecimento público que utilizam fonte de captação superficial de boa qualidade têm nas estações de tratamento convencional ou de ciclo completo os processos fundamentais para garantir o atendimento aos padrões de qualidade exigidos.

As estações de ciclo completo são definidas pela clássica seqüência dos processos de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, e apresentam um bom grau de eficiência na remoção de cor, turbidez e possíveis contaminantes. A FIGURA 3.3 apresenta de forma esquemática uma ETA convencional ou de ciclo completo com lançamento de resíduos diretamente em corpos d'água.

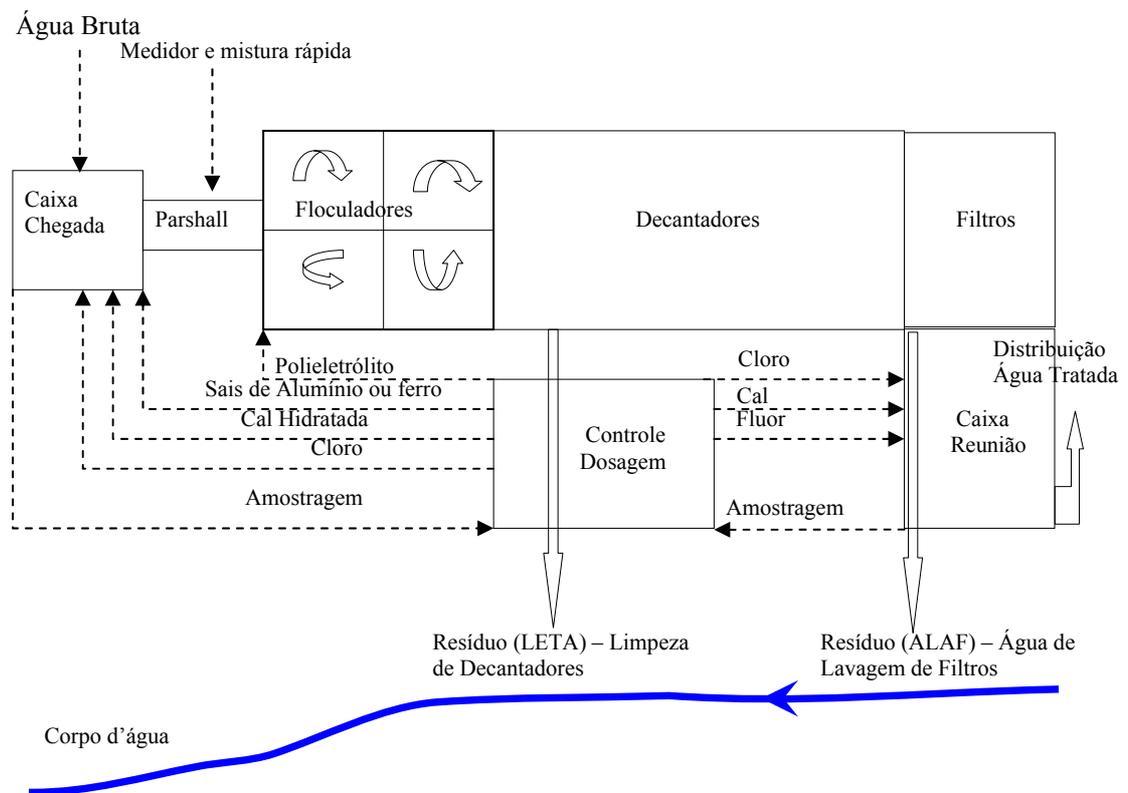


FIGURA 3.3 Esquema de ETA convencional ou de ciclo completo com lançamento de resíduos diretamente em corpos d'água

Através das operações e processos de uma estação de tratamento convencional ou de ciclo completo, a água bruta é captada em mananciais superficiais e são adicionados produtos químicos com o objetivo de alterar sua qualidade para adequação ao consumo humano quanto aos aspectos sanitários, estéticos e econômicos.

Nessas estações são utilizados coagulantes como sais de ferro e de alumínio, que, através de suas cargas elétricas, são capazes de provocar a desestabilização de partículas. Para a ação desses sais na formação dos flocos são necessárias unidades de mistura rápida para dispersão desse coagulante (coagulação) e câmaras de mistura lenta para a formação de flocos (floculação).

Após a formação dos flocos, é necessária a sua remoção por meio de operação realizada nos decantadores, unidades onde ocorre o processo de separação das fases sólido-líquido.

Nos decantadores, os sólidos se sedimentam e são retidos no fundo por um período de tempo que pode variar de dias até meses, dependendo do sistema de descarga adotado. Os sólidos acumulados são chamados de lodos.

A água pré-clarificada, ainda com presença de flocos não sedimentados, é encaminhada para as unidades de filtração onde se processa a clarificação final. Como resultado final dessas operações têm-se a água para abastecimento e os resíduos gerados.

A água para abastecimento público, no Brasil, deve atender aos padrões de potabilidade definidos pela Portaria 1469/2000, do Ministério da Saúde, que se constitui num instrumento legal, cujo cumprimento é obrigatório por parte dos responsáveis pelo abastecimento público.

Os resíduos gerados se constituem, principalmente, pelo lodo acumulado nos decantadores (LETA) e água de lavagem de filtros (ALAF), mas ainda devem ser incluídos os resíduos da limpeza de tanques de produtos químicos. Segundo GRANDIN (1992), esses resíduos se compõem das impurezas presentes na água bruta, produtos químicos aplicados e sub-produtos de reações ocorridas.

Os lodos de ETA (LETA) são enquadrados pela NBR 10004/87 como “resíduos sólidos”, devendo ser tratados e dispostos de acordo com os critérios estabelecidos pelos órgãos de fiscalização ambiental no âmbito de cada estado.

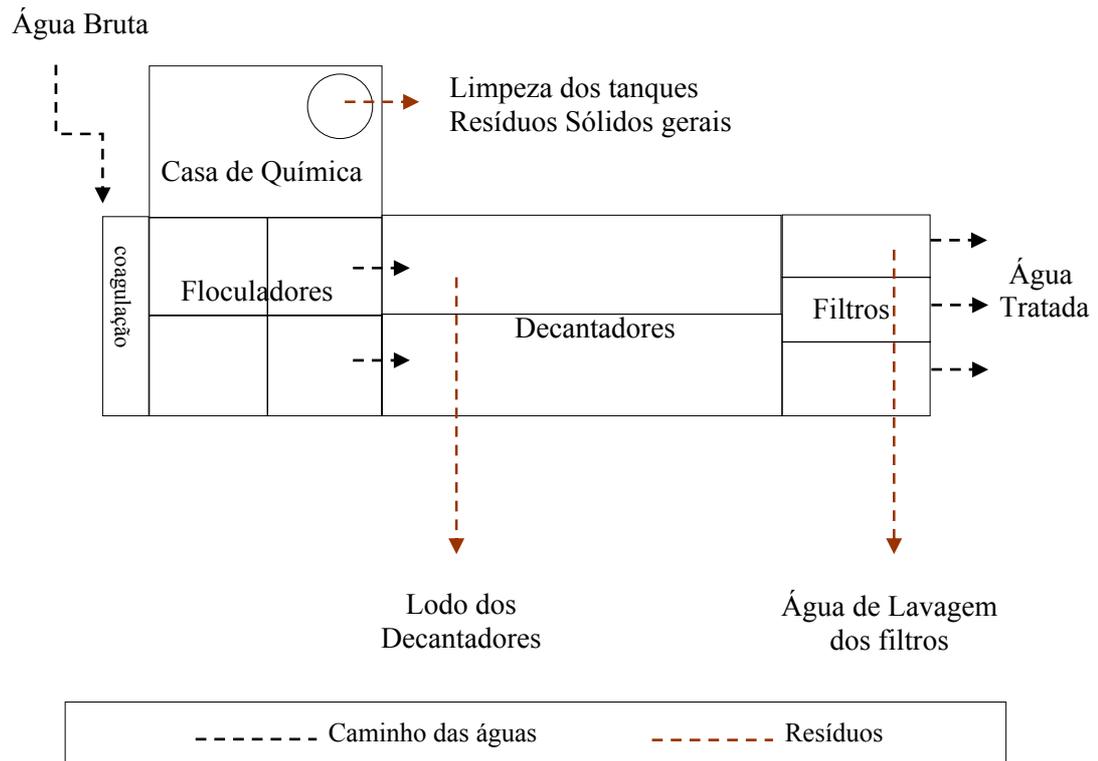
Os resíduos de ETA se caracterizam por possuírem baixos teores de sólidos e grande quantidade de água, geralmente apresentam umidade acima de 95%. Em função dessas características tornam-se de difícil manejo sendo necessária a redução de volume para disposição adequada com redução de custos de transporte e diminuição dos riscos ambientais (CORDEIRO, 1999).

3.2.1 Características gerais dos resíduos de ETA

É importante para a solução da destinação final dos resíduos de ETA o conhecimento quanto a sua origem, características qualitativas e quantitativas e operações envolvidas na limpeza de decantadores, na lavagem de filtros e nos processos de redução de volume.

3.2.1.1 Origem dos resíduos de ETA de ciclo completo

Os resíduos gerados em ETAs convencionais são formados de diversos constituintes que ao serem captados, adicionados (**afuentes**) e processados nas várias operações do tratamento se transformam em produto final e resíduos (**efuentes**) como ilustrado na FIGURA 3.4.



Fonte: CORDEIRO (1993) adaptada.

FIGURA 3.4 Resíduos gerados em ETAs: decantadores, filtros e preparo de produtos químicos

Os resíduos das estações de tratamento de água, na sua forma mais comum, são basicamente constituídos de água e sólidos suspensos, originalmente presentes no manancial, comumente areia, silte, argila, metais, soluções dissolvidas e bactérias, acrescidos de produtos resultantes dos coagulantes químicos, principalmente precipitados de sais de alumínio ou de ferro e suas impurezas aplicados na água no processo de tratamento.

No Brasil, até então, nos sistemas de tratamento de água, a maior importância era atribuída a estudos que enfocavam, principalmente a qualidade do produto final da ETA, não existindo, portanto, estudos específicos que levassem ao conhecimento da geração, características qualitativas e quantitativas, aspectos relativos a prováveis impactos ambientais e métodos de tratamento e disposição final dos

resíduos de ETA. Este conhecimento é de fundamental importância para a solução do problema (CORDEIRO, 1993).

Nas TABELAS 3.2. e 3.3. são apresentados os prováveis constituintes dos principais afluentes e efluentes.

TABELA 3.2 Principais constituintes de afluentes de ETAs convencionais

Afluentes	Principais constituintes
Água Bruta	Água, partículas em suspensão e solução (argilo-minerais, substâncias húmicas, algas, matéria orgânica, possíveis contaminantes (defensivos agrícolas, fertilizantes), etc.
Coagulante Primário – Sulfato de Alumínio	$Al_2(SO_4)_3 + 18 H_2O$, possíveis contaminantes (metais)
Cal	$Ca(OH)_2$, impurezas
Auxiliares de floculação ou de filtração (polímeros, sílica ativada e outros)	Polímeros naturais ou sintéticos, monômeros não sintetizados no processo de produção, sílica, alumínio, etc.

Fonte: CORDEIRO (1993)

TABELA 3.3 Principais constituintes de efluentes de ETAs convencionais

Efluentes	Principais constituintes
Água Tratada	Água + parcela de subprodutos de reação de produtos químicos e material presente na água bruta, parcela de material em solução e suspensão
Lodo Sedimentado dos decantadores	Matéria orgânica suspensa na água, carbonato de cálcio, hidróxido de magnésio, hidróxidos complexos de alumínio ou ferro, plâncton, matéria orgânica + água + metais.
Água de lavagem dos filtros	Partículas finas, hidróxidos complexos de alumínio e ferro, plâncton, matéria orgânica, água e subprodutos gerados no processo de coagulação, impurezas contidas nos produtos químicos aplicados, etc.
Água de lavagem dos tanques de mistura	Água, cal, sulfato de alumínio, polieletrólitos + impurezas contidas nos produtos preparados.

Fonte: CORDEIRO (1993)

3.2.1.2 Característica qualitativa de lodos de ETA

As características de lodos produzidos nas ETAs convencionais, além dos fatores como quantidade de sólidos presentes na água bruta, concentrações de produtos químicos aplicados nas várias etapas do processo, principalmente na coagulação, dependem da frequência e condições operacionais de limpeza dos decantadores e da maneira de lavagem dos filtros.

Na TABELA 3.4 são apresentados alguns valores dos parâmetros tradicionais do saneamento como característica do lodo de decantadores de três ETAs estudadas por CORDEIRO (2001), evidenciando as variações das características físicas e químicas do lodo, proporcionadas pelas características das águas captadas em cada região.

TABELA 3.4 Variáveis físico-química para o lodo das ETAs São Carlos, Araraquara e Rio Claro

Variáveis	Características do lodo Bruto		
	Araraquara	São Carlos	Rio Claro
Concentração de sólidos em %	0,14	5,49	4,68
pH	8,93	7,35	7,2
Cor (uC)	10650	-	-
Turbidez (uT)	924	-	-
DQO (mg/L)	140	5450	4800
Sólidos totais (mg/L)	1620	57400	58630
Sólidos suspensos (mg/L)	775	15330	26520
Sólidos dissolvidos (mg/L)	845	42070	32110
Alumínio (mg/L)	2,16	30	11100
Zinco (mg/L)	0,1	48,53	4,25
Chumbo (mg/L)	0	1,06	1,6
Cádmio (mg/L)	0	0,27	0,02
Níquel (mg/L)	0	1,16	1,8
Ferro (mg/L)	214	4200	5000
Manganês (mg/L)	3,33	30	60
Cobre (mg/L)	1,7	0,91	2,06
Cromo (mg/L)	0,19	0,86	1,58

Observação: Os valores de turbidez e de cor para lodos mais concentrados não têm sentido

Fonte: CORDEIRO (2001)

Uma série de estudos têm demonstrado a diversidade de características dos lodos gerados em ETAs, nos quais são analisados os parâmetros tradicionais DBO (demanda bioquímica de Oxigênio), DQO (demanda química de oxigênio), pH, ST (sólidos totais), SV (sólidos voláteis) e SS (sólidos em suspensão), concentração dos principais metais como alumínio, ferro, manganês, cádmio, mercúrio, chumbo, cromo, etc., nutrientes e patogênicos. Além desses parâmetros é necessário conhecer as características estruturais dos sólidos, como a resistência específica e o tamanho das partículas. A análise desses parâmetros exige ações para solução do tratamento dos resíduos de forma praticamente individualizada (CORDEIRO, 1999).

O tamanho da partícula é de fundamental importância para a redução do volume. Tem influência direta na resistência específica que dificulta a remoção da água presente no lodo. A resistência oferecida pelo lodo à passagem da água é definida como resistência específica. Quanto maior a resistência específica, menor a capacidade de filtração da água.

REALI (1999), em levantamentos bibliográficos realizados, apresenta os valores do parâmetro de resistência específica para os lodos de decantadores variando entre $5 \cdot 10^{12}$ e $70 \cdot 10^{12}$ m/kg, enquanto que para as águas de lavagem de filtros encontram-se na faixa de $0,1 \cdot 10^{12}$ a $15 \cdot 10^{12}$.

Os estados físicos da água presente nos lodos podem apresentar maior ou menor dificuldade de remoção em função de suas quantidades e são definidos, segundo SMOLLEN & KAFAAR, *apud* REALI (1999), como:

Água Livre - água não associada a partículas sólidas;

Água intersticial ou capilar - água ligada mecanicamente que se encontra presa aos interstícios dos flocos;

Água vicinal - água presa à superfície da partícula por meio de pontes de hidrogênio;

Água de hidratação - água quimicamente ligada à superfície das partículas sólidas.

Para a redução dos valores de resistência específica à filtração é bastante utilizado o condicionamento químico do lodo, com adição de polímeros sintéticos, que apresenta significativa melhoria para as condições de desaguamento.

As condições operacionais da ETA, principalmente quanto a forma de limpeza dos decantadores, como a remoção manual de lodo, resulta em uma maior quantidade de rejeito e conseqüentemente uma maior dificuldade de manejo. Essa condição confere ao lodo de decantador características finais, principalmente no que se refere à concentração de sólidos, que o leva a ser considerado o principal rejeito de ETA convencional.

3.2.1.3 Característica quantitativa de lodos de ETA

Nos sistemas de tratamento de água convencional ou de ciclo completo são gerados dois tipos de resíduos: lodos dos decantadores e água de lavagem dos filtros. Cada unidade geradora apresenta características distintas de resíduo como vazões e concentrações de sólidos. Portanto, a produção deve ser calculada de modo individual (FERREIRA FILHO & ALÉM SOBRINHO, 1998).

A quantificação do volume de água descartada no processo de descarga dos decantadores é também significativa para o projeto de tratamento de lodos de ETA de ciclo completo. É necessária a estimativa da concentração dos sólidos no lodo descartado expressa usualmente em porcentagem de massa de sólidos secos. A

concentração de sólidos varia bastante de um sistema para outro podendo alcançar teores de sólidos de até 3%. Segundo REALI (1999), na maioria dos casos de descargas completas de decantadores, esse teor se encontra abaixo de 1%.

A água de lavagem de filtro é considerada a segunda maior quantidade de rejeito produzido numa estação convencional e apresenta características, também bastante distintas para ETAs que utilizam coagulantes à base de sais de ferro e de alumínio.

Os sólidos retidos nos filtros são aqueles remanescentes do processo de sedimentação, causados pela adição de condicionantes ou formados pela oxidação de ferro ou manganês.

As águas de lavagem de filtros apresentam baixas quantidades de sólidos totais, geralmente entre 50 e 500 mg/L o que torna importante a homogeneização e adensamento por meio de sedimentadores (DI BERNARDO, 1999).

A operação de lavagem dos filtros tem grande influência no volume de resíduo líquido gerado e que depende do sistema de lavagem, do método de filtração e do coagulante primário utilizado.

3.2.1.4 Métodos de quantificação da produção global de lodo em ETA

A produção de lodo global em ETA de ciclo completo tem influência de fatores como: turbidez e cor aparente da água que têm correspondência com as partículas presentes na água bruta; concentração e dosagem de produtos químicos adicionados ao tratamento; frequência e forma de limpeza dos decantadores e eficiência da sedimentação (CORNWELL, 1987).

Na prática, duas diferentes situações são encontradas para a quantificação de lodo em ETA. A primeira é quando o sistema de tratamento do lodo é dimensionado conjuntamente com o tratamento da água e a segunda situação ocorre quando da concepção do sistema para ETA já existente.

A produção de lodos para ambas situações pode ser calculada de modo distinto. Para ETAs existentes, a determinação da produção de lodo pode ser estimada pela determinação dos sólidos provenientes das descargas dos decantadores e da vazão das mesmas. A produção de lodos para ETA em fase de projeto pode ser determinada por meio de equações empíricas. Em ambos os casos, é conveniente o levantamento de dados da qualidade da água e do consumo de produtos químicos durante um período de no mínimo um ano (FERREIRA FILHO e ALÉM SOBRINHO, 1998).

Para ETAs existentes, outro método de quantificação que apresenta boa eficiência é o de medição física no local que pode incluir a determinação das curvas de isoconcentração dos sólidos nos decantadores.

Segundo CORNWELL (1987), a quantificação da produção de resíduos sólidos global em ETA pode ser realizada utilizando três métodos: método de cálculo, método de análise de balanço de massa e determinação em campo.

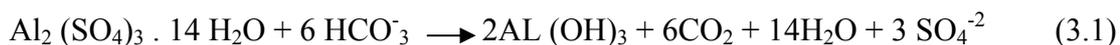
3.2.1.4.1 Método de Cálculo – Equações empíricas

As quantidades de lodo de alumínio e/ou ferro geradas podem ser facilmente calculadas considerando as reações do alumínio e/ou ferro no processo de coagulação.

Nos processos onde é utilizado o sulfato de alumínio como coagulante, a quantidade de alumínio pode ser determinada estequiometricamente onde se verifica

que do total de coagulante adicionado na água são produzidos cerca de 44% de sólidos inorgânicos.

A equação (3.1) representa de forma simplificada a reação típica quando se adiciona o sulfato de alumínio para coagulação.



Assumindo-se que outros produtos, como auxiliares de coagulação, podem ser adicionados ao processo, CORDEIRO (1993) adaptando a equação de CORNWELL (1987) ao Sistema Internacional de medidas, apresenta a equação (3.2) para quantificar a produção global de resíduo sólido:

$$W = 0,0864 \cdot Q \cdot (0,44 \cdot D + 1,5 \cdot T + A) \quad (3.2)$$

W = Quantidade de lodo (kg/d)

Q = vazão de entrada da água (L/s)

D = dosagem de sulfato de alumínio (mg/L)

T = turbidez da água bruta (uT)

A = dosagem de auxiliares ou outros produtos adicionados (mg/l)

Como a determinação da concentração de sólidos suspensos totais (SS) na água bruta é um tanto trabalhosa e pode variar sazonalmente, a equação (3.3) representa a correlação linear entre Turbidez e (SS). Segundo CORNWELL (1987), esta correlação apresenta coeficientes que podem variar de 0,7 a 2,2.

$$\text{SS} = b.T \quad (3.3)$$

SS = Sólidos suspensos (mg/L)

T = Turbidez (uT)

b = coeficiente de correlação

A aplicação desta metodologia deve ser seguida de alguns cuidados. A correlação entre SS e Turbidez pode apresentar algumas complicações, podendo-se destacar as fontes de água bruta que contém uma significativa quantidade de cor aparente. A cor pode ser um grande contribuinte para a produção de lodo. A FIGURA 3.5 apresenta a correlação linear entre (SS) e Turbidez para uma fonte de água bruta com baixos valores de cor.

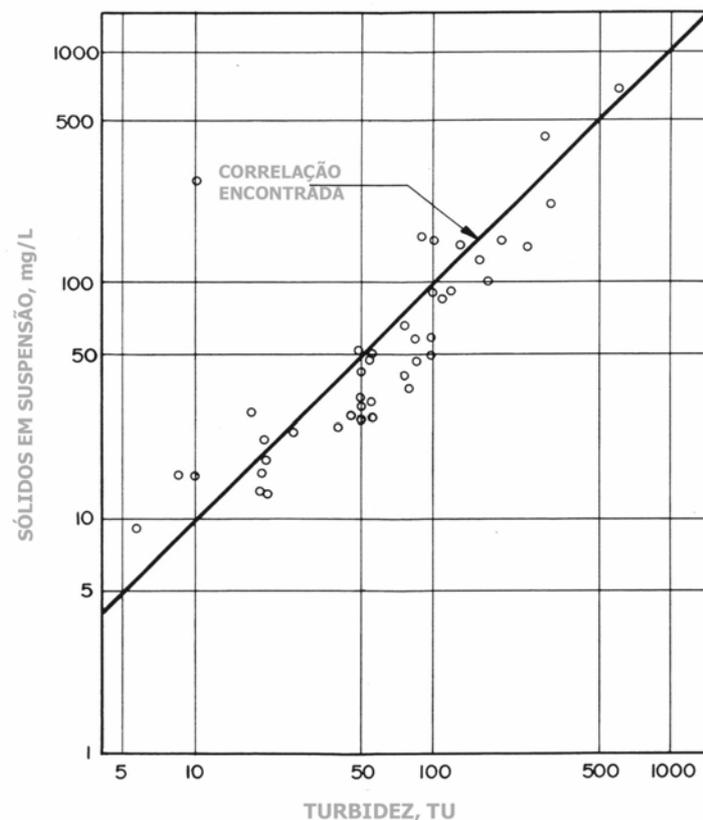


FIGURA 3.5 Correlação entre sólidos em suspensão e turbidez, para uma fonte de água bruta com baixos valores de cor (CORNWELL, 1987)

CORNWELL (1987), recomenda que este procedimento pode ser adotado somente quando cor e turbidez variarem juntas. Caso isso não ocorra, a correlação entre SS e Turbidez pode não existir, e sempre que possível, recomenda a determinação para casos específicos.

BARROSO (2002), em estudo realizado na ETA – São Carlos encontrou uma relação (b) entre SS e Turbidez de 0,671. FERNANDES (2002), estudando o balanço de massas na ETA ABV, São Paulo, identificou a relação entre SS e turbidez (b), para a água bruta afluyente à ETA, entre 0,5 e 1,5, apresentando valor médio global igual a 0,98.

Diversas outras fórmulas empíricas são propostas na literatura para a estimativa da produção de sólidos em ETA, considerando correlações diversas entre SS e Turbidez.

American Water Work Association - AWWA (1978)

$$P = 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot T^{0,66} \quad (3.4)$$

$$W = 86400 \cdot P \cdot Q$$

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

T – turbidez da água bruta

W – quantidade de sólidos secos (kg/dia)

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

Water Research Center - WCR (1979)

$$P = (SS + 0,07C + H + A) \cdot 10^{-3} \quad (3.5)$$

$$W = 86400 \cdot P \cdot Q$$

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

SS – sólidos em suspensão na água bruta (mg/L)

C – cor na água bruta (uC)

H – hidróxido coagulante (mg/L)

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

W – quantidade de sólidos secos (kg/dia)

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

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

para:

SS = 1,2 . Turbidez (uT) da água bruta

C = Cor aparente da água bruta (uC)

H = constante de precipitação para o sulfato de alumínio (0,17.D_{AL}
(mg/L))

tem-se:

$$P = (1,2 \cdot T + 0,07 \cdot C + 0,17 \cdot D + A) \cdot 10^{-3} \quad (3.6)$$

$$W = 86400 \cdot P \cdot Q$$

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

T – turbidez da água bruta (uT)

C – cor aparente da água bruta (uC)

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

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

CETESB (apud SARON, 2001)

$$P = (0,23 \cdot 2AS + 1,5 \cdot T) \cdot 10^{-3} \quad (3.7)$$

$$W = 86400 \cdot P \cdot Q$$

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

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

T – turbidez da água bruta

W – quantidade de sólidos secos (kg/dia)

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

KAWAMURA (2000)

$$P = (D \times F^{(1)}) + (T \times F^{(2)}) \quad (3.8)$$

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

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

F⁽¹⁾ – fator que depende do número de moléculas de água associadas a cada molécula de sulfato de alumínio, usualmente varia entre 0,23 a 0,26.

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

Outro parâmetro importante para a quantificação do volume de lodo de decantadores é a densidade úmida. Conforme REALI (1999) e mostrado na Equação (3.9) ela é função inversa do teor de umidade do lodo:

$$D_L = 100 / (T_{ST} / D_{SS}) + (100 - T_{ST} / D_A) \quad (3.9)$$

D_L – Densidade úmida do lodo

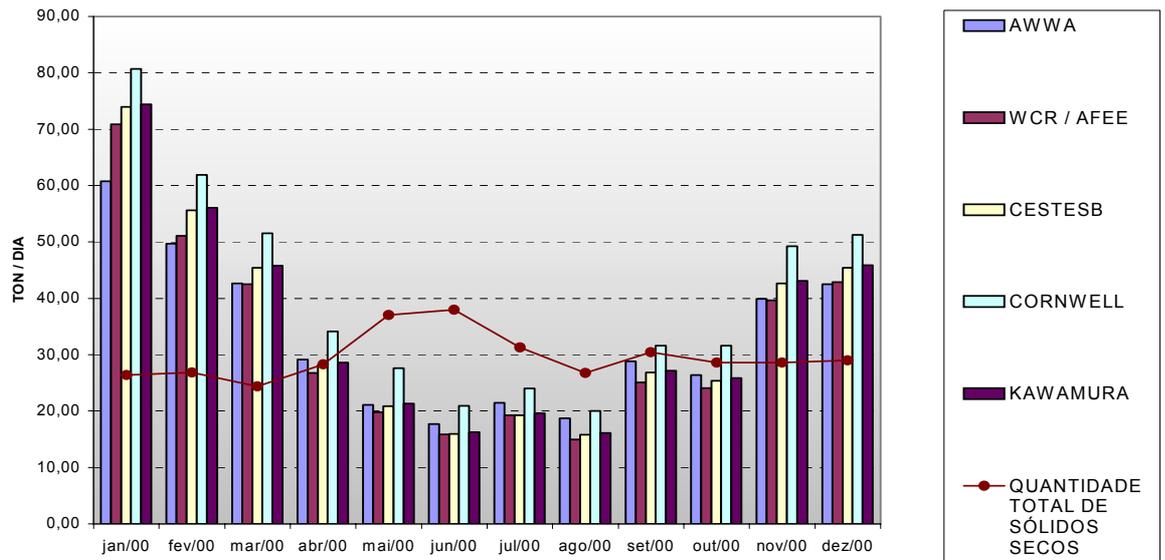
T_{ST} – Teor de sólidos totais (%)

D_{SS} – Densidade dos sólidos secos (adota-se 2500 kg/m³ para ETAs que utilizam sais de ferro ou de alumínio como coagulante)

D_A – Densidade da água

SARON (2001), realizou estudo na ETA Guaraú/SP para verificar a variação da estimativa de produção de sólidos secos pelas equações (3.4; 3.5; 3.6; 3.7 e

3.8) comparada com a quantidade descartada diariamente dos decantadores (FIGURA 3.6). O descarte do lodo na ETA é realizado através de removedores de fundo e sistema de bombeamento.



Fonte: SARON (2001)

FIGURA 3.6 Variação das quantidades de sólidos secos produzidos na ETA

Guaraú/SP

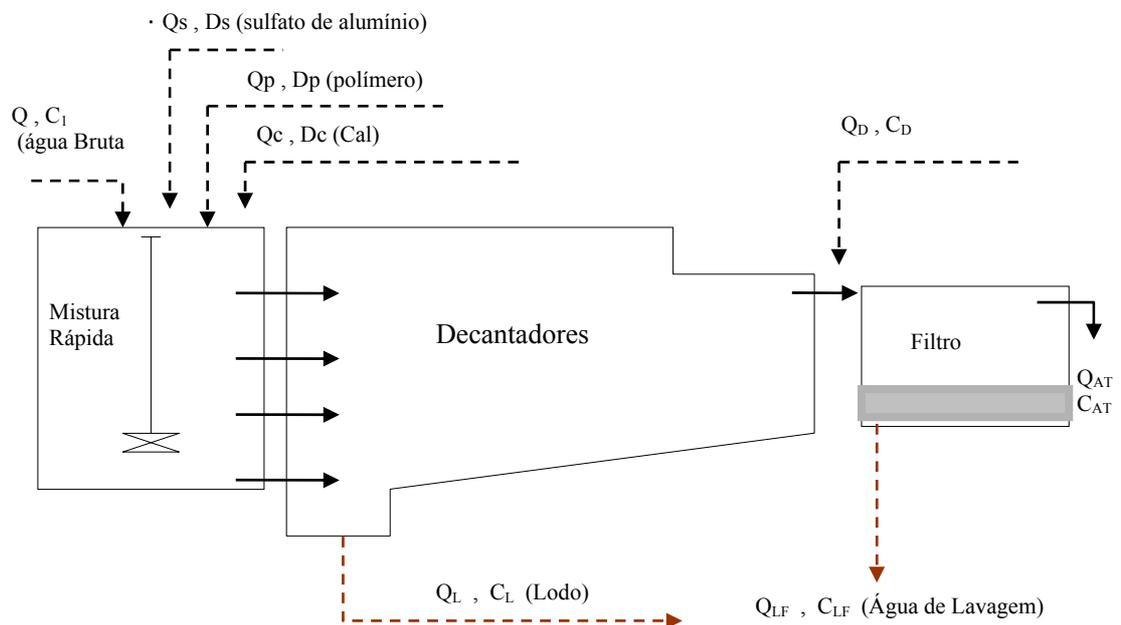
Os resultados para o ano de 2000 são apresentados na FIGURA 3.6 podendo ser observada uma maior quantidade de lodo formada nos meses chuvosos para todas as fórmulas, não acontecendo para a vazão de descarte das bombas de lodo dos decantadores em razão do equipamento ser de vazão constante.

Concluiu SARON ainda, que apesar do diferente valor numérico obtido pelas cinco fórmulas, estatisticamente, elas apresentam um erro de até 1% em relação a sua média.

3.2.1.4.2 Método do balanço de massa

Em ETAs em fase de projeto a produção de sólidos pode ser calculada através da utilização de fórmulas empíricas e correspondente adoção de eficiências relativas a cada processo ou operação unitária para posterior cálculo do balanço de massa completo da ETA.

Para o balanço de massa dos sólidos gerados em ETAs convencionais, considerando-se o fornecimento de sólidos presentes na água bruta e nos produtos químicos adicionados ao processo, a FIGURA 3.7, apresenta o fluxograma com vazões afluentes e efluentes, podendo ser aplicado para avaliação global ou a cada processo unitário.



Fonte: CORDEIRO (1993) adaptada

FIGURA 3.7 Fluxograma de ETA convencional – vazões afluentes e efluentes

O balanço de massa no decantador pode ser expresso pelas equações:

$$Q.C_1 + Q_s.D_s + Q_p.D_p + Q_c.D_c = Q_L.C_L + Q_{LF}.C_{LF} + Q_{AT}.C_{AT}$$

A quantidade de resíduo produzido será:

$$W(\text{mg/s}) = Q_R(\text{L/s}) \cdot C_R(\text{mg/L}) \quad (3.10)$$

ou

$$W(\text{kg/dia}) = Q_R(\text{L/s}) \cdot C_R(\text{mg/L}) \cdot 0,0864 \quad (3.11)$$

W – quantidade de resíduo produzido (kg/dia);

Q – vazão de água bruta (L/s);

C_1 – concentração de sólidos na água bruta (mg/L);

Q_s – vazão de coagulante primário (L/s);

D_s – dosagem de coagulante primário (mg/L);

Q_c – vazão da cal (L/s);

D_c – dosagem da cal (mg/L);

Q_p – vazão do polímero (L/s);

D_p – dosagem do polímero (mg/L);

Q_L – vazão de lodo (L/s);

C_L – concentração do lodo (mg/L);

Q_D – vazão efluente do decantador (L/s);

C_D – concentração de sólidos no efluente do decantador (mg/L)

Q_{AT} – vazão de água tratada (L/s);

C_{AT} – concentração de sólidos na água tratada (mg/L);

Q_{LF} – vazão de lodo de água de lavagem de filtros (L/s);

C_{LF} – concentração de sólidos na água de lavagem de filtros (mg/L).

O balanço de massa, segundo CORNWELL (1987), pode ser também aplicado para avaliar os efeitos de um poluente específico lançado num corpo d'água. Esta ferramenta torna-se importante para que se possa determinar o valor máximo de

concentração do resíduo permitido no lançamento para não transgredir os padrões de qualidade da água de cursos d'água estabelecidos pelas normas e regulamentos.

A avaliação estimativa da quantidade de lodo de decantadores em ETAs existentes pode, ainda, ser realizada empiricamente por meio de métodos de medição física da camada de lodo.

3.2.1.4.3 Medição física de volume de lodo de decantador em ETA

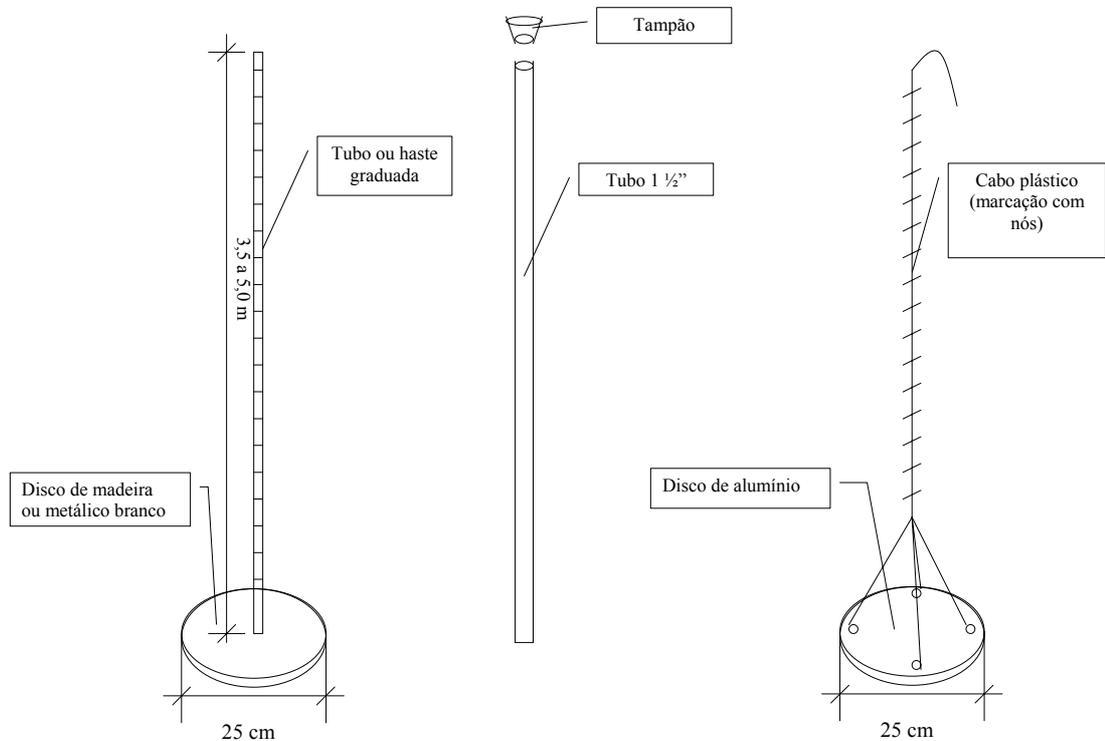
A quantidade de lodo pode ser avaliada mediante determinação da topografia da camada existente ao longo do decantador por meio de equipamento específicos.

VALENCIA (1992), recomenda para medição física que os decantadores convencionais devem permanecer com o fluxo interrompido por pelo menos 12 horas, antes da medição, para garantir que a água acima da camada de lodo esteja bem clarificada.

Os decantadores devem ser divididos em seções longitudinais. Geralmente, grandes decantadores, devem ser divididos, no mínimo, em cinco seções longitudinais, ao passo que os pequenos decantadores podem ser divididos em apenas três. A maior quantidade de pontos deve concentrar-se no primeiro terço do decantador, pois considera-se que neste terço ocorre o maior acúmulo de lodo, aproximadamente 80% do total, em decantador com bom funcionamento. No primeiro terço deve-se adotar seções de metro em metro, no segundo de 3 em 3 metros e no terceiro de 5 em 5m.

A altura da camada de lodo é relacionada com o nível de água na superfície do decantador. Para se obter a medição utiliza-se um pequeno barco e um dos equipamentos de disco, conforme FIGURA 3.8. Os discos ao tocar o lodo serão

cobertos e, portanto, não visíveis, neste momento se verifica a medida na haste ou cabo utilizado.



Fonte: VALENCIA (1992)

FIGURA 3.8 Equipamentos para determinar a topografia da camada de lodo depositada em decantadores

Para se retirar amostras do lodo de fundo utiliza-se um tubo de 1 1/2" (FIGURA 3.8) que ao ser introduzido aberto até atravessar a camada do lodo é tamponado na sua parte superior retendo o material a ser coletado. Assim, pode-se determinar a porcentagem de sólidos secos em cada seção.

Com os dados determina-se a quantidade de lodo em cada seção do decantador para um certo período de tempo. Os valores podem ser plotados representando as curvas de isoconcentração dos sólidos para melhor visualização das condições de acúmulo e características de lodo no fundo dos decantadores.

3.2.2 Influência da operação da ETA na característica dos resíduos

A operação dos processos de uma ETA convencional tem influência direta nas características dos resíduos gerados quanto as suas quantidades e qualidades. As perdas de água nos processos também são influenciadas pela condição operacional e devem ser controladas de maneira eficaz colaborando com a redução da geração de resíduos.

3.2.2.1 Controle de perdas no processo de tratamento em ETA

O controle de perdas em ETA não é uma atividade isolada e envolve tanto a diminuição do volume de água gasto na operação do processo quanto o tratamento dos resíduos sólidos e líquidos gerados no tratamento (FERREIRA FILHO et al, 1999).

Essas perdas normalmente se constituem de: volumes gastos nos processos e descartados; volumes excedentes àqueles necessários à boa operação da ETA; volumes devido a vazamentos.

Os volumes gastos nos processos de tratamento podem ser reduzidos ou até eliminados com o tratamento e reutilização das águas descartadas, principalmente no processo de lavagem de filtros. As perdas de água no processo de tratamento estão diretamente relacionadas com a geração de resíduos que têm origem nas operações de lavagem de filtros e de decantadores.

As águas utilizadas nos tanques de mistura dos produtos químicos e no laboratório podem ser consideradas como perdas no processo, porém, em termos quantitativos o seu volume é praticamente desprezível.

Os excessos praticados nas operações que geram as perdas devem ser controlados com revisão do processo de tratamento e adequação das instalações ou métodos operacionais com vistas à utilização do mínimo volume necessário.

As perdas por vazamentos estão geralmente associadas a falhas estruturais e desgastes de tubulações, adufas, válvulas, comportas, etc... O controle desse tipo de perda tem correspondência com aspectos construtivos, manutenção e qualidade dos materiais empregados.

Há um consenso entre os pesquisadores que os volumes de resíduos produzidos e descartados em uma ETA de ciclo completo se situam entre 1% a 5% do volume de água tratada.

Os volumes gerados se situam entre 0,86% (SOUZA FILHO, 1998) podendo chegar a 5% (DI BERNARDO, 1999) sobre a produção diária de ETA de ciclo completo. CASTRO et al (1998) *apud* BARROSO (2002), em levantamento realizado na ETA Rio das Velhas, indicam valores de 1% a 3% de resíduos gerados sobre o volume de água tratada.

CORNWELL (1987), cita que somente na lavagem de filtros a perda pode representar 2% a 5% do volume de água produzido numa ETA, constitui-se no maior volume de água gasto em todo processo de tratamento.

O controle das perdas e a recuperação das águas utilizadas no processo de tratamento, dada a sua quantidade, pode se constituir numa alternativa importante sob o ponto de vista ambiental e econômico diante da escassez de mananciais e comprometimento da qualidade da água bruta por poluição.

3.2.2.2 Influência da operação dos Decantadores

Os decantadores, sejam convencionais ou laminares, são unidades de escoamento contínuo que permitem a separação da fase sólida da fase líquida por meio da sedimentação dos flocos, que, submetidos à força gravitacional, direcionam-se e acumulam-se no fundo das unidades.

A quantidade de lodo armazenada no fundo dos decantadores é função da vazão afluyente ao decantador, sua taxa de escoamento superficial (vazão por unidade de área em planta - $m^3 / m^2 \cdot dia$), qualidade da água bruta em tratamento, principalmente avaliada em termos de turbidez e/ou cor, e dosagem e tipo de produtos químicos utilizados nas fases anteriores de tratamento, em geral, coagulação e floculação.

No Brasil, como a preocupação ainda não passou pela correta disposição dos resíduos de ETAs, a maioria não dispõe de condições para implantação de dispositivos para limpeza contínua.

Grande parte das instalações existentes, principalmente os decantadores convencionais, necessitam de limpeza manual para a remoção de lodo acumulado, implicando em operações de esvaziamento completo da unidade, seguida da limpeza manual e jatos de água, provocando grandes perdas de água, produtos químicos, paralisações parciais da produção de água e grande esforço da equipe operacional.

Nas instalações mais simples as descargas dos decantadores são realizadas por apenas uma válvula, nas mais complexas pode ser com o uso de múltiplo coletor. A descarga pela canalização coletora pode ser proporcionada por pressão hidráulica direta ou pela ação de um sifão. RICHTER et al (1995), evidenciam como vantajoso o sistema de sifão quando se deseja automatizar as descargas ou por conveniências construtivas, como evitar abrir parede estrutural e etc.

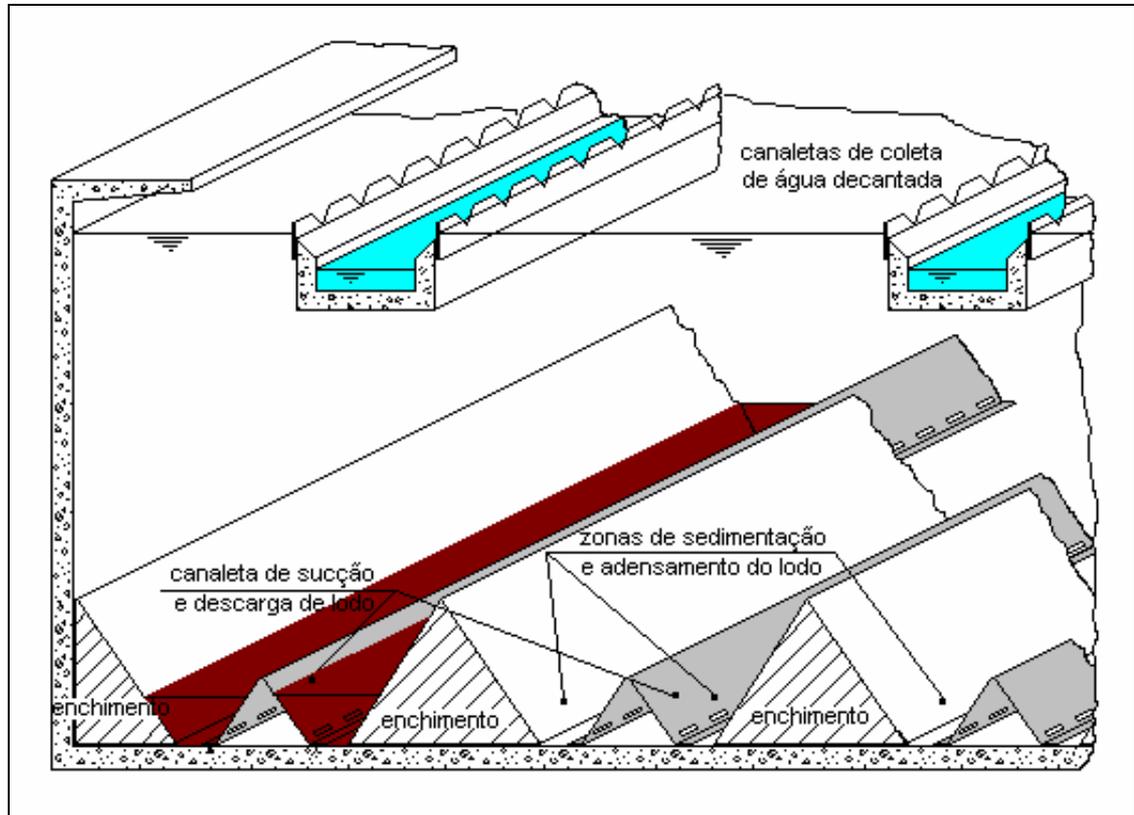
Outras instalações, principalmente de grande porte, manifestam a presença de equipamentos e dispositivos, dimensionados para a tarefa em questão, porém, usando técnicas desenvolvidas comercialmente por empresas do setor, cujos custos de implantação, operação e manutenção podem ser elevados. De acordo com NAVE MENDES (1998), dispositivos mais simples, como raspadores mecanizados e tubulações ou canais funcionando como “manifolds”, também manifestam seus problemas operacionais e de manutenção.

Visando eliminar problemas relativos a desgastes de peças e equipamentos e dos problemas de ressuspensão do lodo sedimentado, NAVE MENDES (1998), propôs um sistema de sucção e descarga de lodo com instalação fixa.

O sistema consiste na implantação de canais triangulares, executados em chapa de material metálico (aço, alumínio ou aço inoxidável, dependendo da agressividade da água em tratamento) provida de orifícios, para sucção de lodo, regularmente espaçados ao longo do comprimento dos canais. As descargas são intermitentes, executadas a cada intervalo de tempo que se determine (um mínimo de 30 minutos entre cada descarga será necessário) ajustando-o à produção de lodo do momento.

Como algumas das vantagens sobre a adoção deste sistema de descarga, NAVE MENDES (1998) destaca: grande facilidade de adaptação a decantadores existentes, sejam do tipo de fluxo horizontal (convencionais), ou de alta taxa, providos de módulos; montagem rápida, por causa da pequena necessidade de obras e facilidade de pré-moldagem das peças componentes do sistema; proporciona a extração de lodo em maior concentração, evitando-se desperdícios de água e produtos químicos; reduz o volume de lodos produzidos pela ETA.

A FIGURA 3.9 ilustra o sistema de sucção e descarga para lodo de decantadores proposto por NAVE MENDES (1998).



Fonte: NAVE MENDES (1998)

FIGURA 3.9 Sistema de sucção e descarga de lodo de decantadores

Os decantadores que não possuem mecanismos de limpeza automática podem acumular o lodo durante longos períodos podendo causar a ocorrência da ressolubilização de metais e condições anaeróbias que afetam a qualidade da água decantada, podendo conferir sabor e odor desagradáveis. Assim, a acumulação do lodo por um longo período de tempo pode resultar numa maior concentração de sólidos, porém não é recomendado (CORNWELL, 1987).

Em pesquisas realizadas no Brasil, o período de tempo entre limpezas manuais sucessivas de um mesmo decantador variou de 80 a 180 dias (CORDEIRO, 1993) e de 20 a 60 dias (PARSEKIAN, 2000).

Os lodos provenientes dos decantadores apresentam alguma toxicidade devido aos precipitados de hidróxidos, aluminatos e outras substâncias adicionadas no processo de tratamento para fins de coagulação.

A forma de descarga dos lodos de decantadores convencionais tem influência direta na quantidade e qualidade dos resíduos, principalmente quando são esvaziados por completo incluindo a parte clarificada. Uma condição que pode reduzir a quantidade e melhorar a característica quanto a teor de sólidos é a recuperação da água clarificada com seu bombeamento direto para os filtros.

FERNANDES (2002), em estudo realizado na ETA ABV, São Paulo, Capital, recomenda a recuperação de 50% das águas clarificadas dos decantadores com o lançamento direto para os filtros, visando a redução da diluição do lodo e conseqüente aumento da concentração de sólidos.

3.2.2.3 Influência da operação dos Filtros

Os filtros são unidades que fazem parte do processo de clarificação da água e são constituídos de um meio poroso para remoção de impurezas presentes na água. Nesse processo são envolvidos fenômenos físicos, químicos e, às vezes biológicos (RICHTER et al 1995).

De acordo com estudos apresentados por DI BERNARDO (1999), a lavagem dos filtros é efetuada de diversas maneiras, podendo gerar maior ou menor volume de água de lavagem. A lavagem dos filtros apenas com água no sentido

ascensional concorre para a geração de um volume maior de água quando comparado ao sistema que possui lavagem auxiliar com ar, seguida de lavagem com água ascensional.

Nos casos de lavagem de filtros de sistema que utiliza filtração direta comparada com aqueles de filtração de água decantada o rejeito líquido gerado se diferencia tanto em quantidade como em qualidade. A filtração direta retém as partículas primárias ou de pequenos flocos, enquanto a filtração de água decantada retém fragmentos de flocos.

O tipo de coagulante empregado tem influência direta na quantidade de resíduos líquidos gerados na lavagem de filtros. Quando utilizado cloreto férrico em comparação com sulfato de alumínio, segundo DI BERNARDO (1999), a duração da carreira de filtração pode ser mais longa, dependendo das características da água bruta, pois a água decantada pode apresentar-se com menor quantidade de sólidos e, com isso, diminuir o número de lavagens e gerar menor volume de resíduos líquidos em um mesmo período de tempo.

É importante considerar que o volume de água descartada na lavagem de filtros é muito superior àquele descartado nos decantadores, porém a quantidade de sólidos é bastante reduzida o que em muitos casos pode retornar para o início do sistema através de coleta e homogeneização.

A recirculação da água de lavagem de filtros deve ser cercada de cuidados quanto a qualidade microbiológica, podendo em muitos casos inviabilizar essa técnica. Um monitoramento quanto as suas características microbiológicas deve ser implementado para assegurar que o processo de recirculação da água de lavagem de filtros não comprometa a qualidade da água tratada.

3.3 Aspectos da legislação ambiental sobre resíduos de ETA

O lançamento de resíduos de estações de tratamento de água em águas superficiais provoca um desequilíbrio no ecossistema do corpo d'água receptor. As altas concentrações de sólidos (turbidez) provoca sensível redução da luminosidade no meio aquático e conseqüente queda da produção de fitoplâncton. Concorre ainda com o aumento da concentração de metais tóxicos na camada bentônica próxima ao ponto de descarga (ROBERTS & DIAZ, 1985, apud CORNWELL, 1987).

Diante da necessidade de proteção do meio ambiente, regulamentos e legislação contribuem para a restrição e controle de poluição estabelecendo padrões para lançamento e conduta dos agentes responsáveis pelos sistemas de produção.

No Brasil, a regulamentação sobre a proteção do meio ambiente é de responsabilidade do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, que deve estabelecer o compromisso de garantir o equilíbrio entre os impactos gerados pela industrialização e a capacidade de suporte da natureza.

A Resolução CONAMA nº 20/86 estabelece padrões para lançamento de efluentes nos corpos d'água e classifica esses corpos, segundo seus usos preponderantes e estabelece limites para os parâmetros de DBO_{5,20} (mg/l O₂); Oxigênio Dissolvido (mg/LO₂); Turbidez (uT); Cor (uCl); pH e Substâncias potencialmente prejudiciais como metais, organoclorados e organofosforados.

Regulamentos específicos com padrões para controle de poluição do meio ambiente têm sido editados pelos estados baseados naqueles estabelecidos pelo SISNAMA e observadas as características regionais. Leis, também têm sido elaboradas com o propósito de restringir ações antrópicas que possam degradar o meio ambiente.

O Estado de São Paulo editou a Lei 997/76 que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente proibindo o lançamento ou liberação de poluentes nas águas, no ar ou no solo. Esta Lei foi regulamentada pelo Decreto 8468/76 que proíbe a disposição de *lodo proveniente de sistemas de tratamento* em galerias de águas pluviais ou em corpos de água.

Quanto à necessidade de licenciamento de projetos de fontes poluidoras, o Decreto 47.397/02, que também regulamenta a Lei 997/76, considera que os serviços de coleta, armazenamento, transporte e disposição final de *lodos ou materiais retidos em unidades de tratamento de água* são fontes poluidoras.

A Lei 6938/81, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, define como poluidor a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental.

A Lei 9605/98, também chamada de Lei de crimes ambientais, dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e incrimina cível e penalmente, quem provocar, pela emissão de efluentes ou carreamento de materiais, o perecimento de espécimes da fauna aquática existentes em rios, lagos, açudes, lagoas, baías ou águas jurisdicionais brasileiras. Responsabiliza o gerente que, sabendo da conduta criminosa de outrem, deixar de impedir a sua prática, quando podia agir para evitá-la. Ainda, a responsabilidade das pessoas jurídicas não exclui a das pessoas físicas, autoras, co-autoras ou partícipes do mesmo fato.

Quanto à classificação dos resíduos gerados em estações de tratamento de água, a Norma NBR 10.004/87 inclui na definição de resíduos sólidos “...os *lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, ...*”. Alguns questionamentos surgem ao se enquadrar as características e as origens dos lodos de ETAs. Os lodos de

decantadores, normalmente com concentração de sólidos entre 30000 mg/L e 60000 mg/L, quando passam por processos de espessamento, podem ser caracterizados como resíduos sólidos, contudo, na comunidade científica, há consenso de que as águas de lavagem de filtros podem ser caracterizadas como resíduo líquido, com concentração de sólidos variando, geralmente de 50 a 500 mg/L (DI BERNARDO, 1999 e BARROSO, 2002).

A TABELA 3.5 apresenta valores máximos de parâmetros de lançamento de efluentes estabelecidos pelo artigo 21º da Resolução CONAMA nº 20/86 e artigo 18º do Decreto 8468/76 que regulamenta a Lei 997/76 do Estado de São Paulo, comparados com dados de lodos de ETAs constantes na literatura brasileira.

TABELA 3.5 Parâmetros restritivos de lançamento de efluentes comparados com resíduos de ETAs brasileiras

Parâmetro	un	CONAMA N° 20/86 artigo 21°	SP 8468/76 artigo 18°	Di Bernardo et al. (1999) DAT ^(a)	Cordeiro (1993) DC ^(b)
pH	-	5 a 9	5 a 9	7,9	6,4
DBO _(5,20)	mg/L	-	< 60	-	-
DQO	mg/L	-	-	640	5600
Sólidos Sedimentáveis	ml/L	1,0	1,0	-	710
Sólidos Suspensos	mg/L	-	-	22005	27891
Alumínio	mg/L	-	-	-	3965
Cádmio	mg/L	0,2	0,2	0,05	0,14
Chumbo	mg/L	0,5	0,5	0,88	2,32
Cobre	mg/L	1,0	1,0	1,05	1,47
Cromo ^{VI}	mg/L	0,5	0,1	-	-
Cromo total	mg/L	2,0	5	0,42	3,82
Ferro solúvel	mg/L	15	15	940 ⁽¹⁾	3382 ⁽¹⁾
Merúrio	mg/L	0,01	0,01	-	-
Níquel	mg/L	2,0	2,0	1,06	2,70
Zinco	mg/L	5,0	5	1,7	2,13

(-) Não determinado;

^(a) – lodo de decantador convencional que utiliza sulfato de alumínio;

^(b) – lodo de decantador de alta taxa adaptado de ETA que utiliza sulfato de alumínio (descarga mensal);

⁽¹⁾ Ferro total

Observa-se que os valores dos parâmetros de sólidos sedimentáveis e dos metais chumbo, cobre e níquel, transgridem aqueles estabelecidos pelo artigo 21º da Resolução CONAMA nº 20/86 e pelo regulamento estadual SP 8468/76.

Nos EUA, de acordo com o “National Environmental Protection Act” de 1969, todo projeto de ETA requer um estudo de impacto ambiental para sua implantação. No Brasil, o Conselho Nacional de Meio Ambiente, por intermédio da Resolução nº 1/86, estabelece procedimentos para estudos de impactos ambientais para projetos que possam alterar as características físicas, químicas e biológicas do meio ambiente como é o caso dos lançamentos de resíduos das estações de tratamento de água.

3.4 Alternativas de tratamento dos resíduos de Estações de Tratamento de Água

A busca por soluções para minimizar os impactos e viabilizar a disposição adequada dos resíduos de ETAs levou ao desenvolvimento de técnicas diversas. Como esses resíduos apresentam grandes quantidades de água, a escolha do tipo de unidade ou equipamento depende das características qualitativas e quantitativas dos lodos. Essas características variam consideravelmente entre as estações de tratamento.

Recomenda-se que a escolha do método ou unidade seja embasada em resultados de análises realizadas em laboratórios, ou escala-piloto com amostras representativas do resíduo. Devem também ser avaliadas as necessidades, dosagens e tipos de condicionadores químicos para cada processo em função da resistência que as partículas apresentam na remoção da água.

Outro aspecto importante a ser considerado para a escolha do método de desaguamento e tratamento dos resíduos de ETA é a condição climática.

O desaguamento dos resíduos de ETA, de acordo com GRANDIN (1992), é uma operação física mecânica ou natural, executada para reduzir o teor de umidade com conseqüente redução de volume refletindo na redução de custo de transporte para a destinação final e, principalmente, quando disposto em aterro, reduzir a quantidade do percolado (chorume).

Segundo KAWAMURA (2000), os métodos de desaguamento para permitir um manuseio adequado e tratamento dos resíduos para disposição final devem, ainda, considerar os controles ambientais exigidos pelas normas e regulamentos.

Os métodos utilizados para redução de volume de resíduos mais conhecidos podem ser classificados como (PATRIZZI, 1998):

- Naturais: leitos de secagem e lagoas de lodo;
- Mecânicos: filtros à vácuo, filtros prensa de placas, centrífugas, filtros prensa de esteira (*belt press*).
- Outros métodos pouco usuais: congelamento e incineração;

Segundo PATRIZZI (1998) para que se realize a desidratação é fundamental o espessamento dos resíduos. Esse espessamento pode ser realizado por flotação ou por gravidade.

3.4.1 Espessamento de lodos de ETA

As formas de espessamento de lodos de ETA mais comuns são por espessadores por gravidade (sedimentadores) e por flotação (por ar dissolvido). Segundo REALI (1999), são unidades que têm sido utilizadas tanto para lodos de

estações de tratamento de água (ETAs) como para estações de tratamento de esgotos (ETEs). O espessamento por flotação é uma técnica que tem sido adotada a partir da década de 80 pelos países do norte da Europa e África do Sul.

3.4.1.1 Espessamento por gravidade (Sedimentadores)

Os espessadores por gravidade são as unidades mais utilizadas e disseminadas, tendo como formas de alimentação por batelada ou contínua. As formas de alimentação dependem das particularidades operacionais dos decantadores e das demais unidades da ETA que normalmente caracterizam os lodos quanto ao seu teor de sólidos.

As unidades de espessamento por gravidade podem ser projetadas a partir da experiência com a operação de outras unidades utilizadas em situações semelhantes ou por parâmetros obtidos de ensaios em escala de laboratório ou piloto.

Os principais parâmetros de projeto de unidades de espessamento de lodo por gravidade com escoamento contínuo são (REALI 1999):

- *Taxa hidráulica de aplicação superficial (TAS)*: valor máximo de vazão do lodo por unidade de área útil (em planta) do adensador para obter um determinado grau de clarificação e de adensamento do lodo (m^3 de lodo/ m^2 de área . d).

- *Taxa de aplicação (ou descarga) de sólidos (TCS)*: define o fluxo de sólidos aplicados por unidade de área útil (em planta) do adensador para obter um determinado grau de clarificação e adensamento do lodo. Expresso em termos de massa seca (kg) de sólidos totais aplicados por unidade de tempo (dia), por unidade de área (m^2) de adensador (kg de SST/ m^2 . d).

Para as estações que utilizam o processo de abrandamento com cal, geralmente o lodo se torna mais fácil de ser espessado. Segundo KAWAMURA (2000), a TCS geralmente se encontra entre 147 a 294 kg/m².d, podendo resultar em um lodo espessado com teor de sólidos entre 15 a 35%.

Para os lodos gerados em estações que utilizam coagulantes à base de alumínio ou de ferro, o espessamento requer condicionamento químico através de dosagens adequadas de polímeros sintéticos. Esses lodos podem, também ser condicionados com a adição de cal, em dosagens bem maiores que as de polímero, resultando em melhora do espessamento, embora ocorra substancial aumento da massa de sólidos do lodo espessado devido à cal adicionada.

De acordo com KAWAMURA (2000), o lodo de alumínio ou ferro com adição de 2 a 3 mg/L de polímero catiônico pode produzir um lodo contendo de 3 a 5% de SST com TCS de 49 kg/m².d, enquanto que com adição de cal como condicionador resulta num lodo espessado com 6 a 9% de SST com TCS de 25 a 50 kg/m².d.

O objetivo principal da utilização de polímeros condicionadores no espessamento do lodo é a minimização da quantidade de água a ser transportada e aplicada no processo de desaguamento. Outro objetivo é a melhor clarificação da água para recuperação.

3.4.1.2 Espessamento por flotação por ar dissolvido (FAD)

Algumas das vantagens do espessamento por flotação por ar dissolvido em relação ao espessamento por gravidade podem ser destacadas como: maiores taxas de aplicação de sólidos e de clarificação, portanto são unidades mais compactas, maiores concentrações de sólidos no lodo espessado e maior versatilidade operacional

da instalação devido à possibilidade de controle da quantidade de ar fornecida para a flotação (REALI, 1991).

A flotação pode ser definida como a separação de sólidos ou líquidos de uma fase líquida por meio de bolhas de gás não solúvel em água, normalmente o ar atmosférico. Essas bolhas aderem-se às partículas de lodo pré-condicionado com polímero, aumentando o empuxo atuante sobre as mesmas e provocando seu movimento em direção à superfície onde são devidamente coletadas (REALI, 1991).

A exemplo dos espessadores de lodo por gravidade, as unidades de flotação são projetadas usualmente com base tanto na experiência com operação de unidades já instaladas em situações semelhantes quanto em resultados de ensaios em escala piloto ou de laboratório.

Os parâmetros de projeto, segundo REALI (1999), para espessadores por flotação por ar dissolvido são:

- *Taxa hidráulica de aplicação superficial (TAS) e taxa de aplicação (ou de carga) de sólidos (TCS)*, definidas como no item 3.4.1.1. para espessadores por gravidade;

- *Relação entre o fluxo máximo de ar dissolvido fornecido para flotação e o fluxo máximo de sólidos suspensos totais (SST) afluentes ao flotador (A/S)*.

A flotação por ar dissolvido passou a ser empregada para espessamento de lodo de ETAs na década de 80 por países do Norte da Europa e África do Sul. Esta técnica tem sido, também, uma alternativa aos decantadores convencionais por requerer menor tempo de floculação e alta taxa hidráulica de aplicação, em geral cerca de dez vezes maior que o processo convencional. Apresenta, ainda, lodo com concentração de sólidos maior (2 a 3%) do que os lodos produzidos nos decantadores convencionais, geralmente 1%. Nos EUA a flotação passou a ser empregada para tratamento de água

potável a partir de 1993, enquanto a Europa já se utilizava desta técnica desde a década de 1960 (KAWAMURA, 2000).

Na TABELA 3.6 são apresentados alguns dados operacionais disponíveis de espessadores por flotação por ar dissolvido em estações de tratamento de água.

TABELA 3.6 Dados operacionais de espessadores de lodo por flotação em ETA

ETA	Concentração de alimentação de sólidos (%)	Concentração de sólidos flotados (%)	Taxa de Carga de Sólidos (TCS) (kg/m ² .d)	Tipo de lodo	Dosagem de Polímero
Mouille	0,2 – 0,35	2,5 – 3,0	96,0 – 120,0	Fe	6 g/kg
Dunkerque	-	2,0 – 2,5	108,0 – 132,0	Fe	2 g/kg
Mervent	0,03 – 0,07	3,5 – 4,0	38,4 – 88,8	Al	1,5 mg/L
Saint Vicent (S. Graon)	-	≥ 2,5	52,8	Al	4 – 5 g/kg
Cholet	0,2	3,3 – 4,0	180,0	Al	2g/kg
Santillana Spain)	-	3,0 – 4,0	120,0	Al	

Fonte: Levesque, L. (1982). *Traitement des Boues de Stations de Production d'eau Potable. Etude de Synthèse*. Association Française Pour L'Étude des Eaux, Paris. Hurby, A. & Fayoux, C. (1983). *La Flottation des Boues: Un Avenir L'Éau, L'Industrie, les Nuissances*, 79:20-24 [apud REALI, 1999].

3.4.2 Desaguamento mecânico

Os sistemas mecânicos de desaguamento de lodos de ETA podem ser usados em situações onde a construção de sistemas naturais não seja viável por fatores como: falta de espaço físico; altas precipitações pluviométricas e/ou necessidades de altas concentrações de sólidos (KAWAMURA, 2000).

Os sistemas mecânicos incluem: filtros à vácuo; centrífugas; filtros prensa de placas; filtros prensa de esteira (*belt press*).

CORDEIRO (1999), considera que apesar de toda experiência, a aplicação de sistemas mecânicos de desaguamento de lodos de ETA ainda não é efetiva

e demanda certos cuidados. A utilização de forma mais ampla depende de projetos mais específicos, pois a característica própria dos lodos de ETAs apresenta difícil manejo. A remoção da água livre depende do tamanho das partículas e resistência específica dos mesmos que influenciam na filtrabilidade.

3.4.2.1 Centrífugas

A operação realizada pelas centrífugas consiste na separação das fases sólido-líquido cujo princípio básico é semelhante à sedimentação de partículas submetidas a ação da gravidade. No entanto, a intensidade das forças atuantes nos equipamentos de centrifugação geralmente superam a força da gravidade em centenas até milhares de vezes.

As centrífugas aceleram o processo de sedimentação, em operação contínua. Essa operação é simples, limpa e relativamente econômica.

Os equipamentos mais usuais são as centrífugas que não possuem o tambor perfurado sendo: centrífugas de disco com eixo vertical; centrífugas de tambor de eixo vertical e centrífugas decantadoras de eixo horizontal. Existem ainda as centrífugas de tambor perfurado.

A diferença entre os tipos apresentados é o método com que os sólidos são coletados e descarregados do tambor. A remoção dos sólidos se dá pelo escoamento através de campos centrífugos geralmente na faixa de 1000 a 6000 vezes a força gravitacional.

As centrífugas de tambor perfurado não são recomendadas, segundo REALI (1999), em razão dos lodos de ETAs e ETEs usualmente apresentarem uma gama muito ampla de tamanho de partículas, incluindo muitos finos ou até gelatinosos

(especialmente os de ETEs), pois a água teria que percolar toda a camada de lodo acumulada internamente ao tambor durante sua migração para fora do tambor.

Para melhoria da eficiência (R) de remoção de sólidos nas centrífugas, é usual o condicionamento com polímeros e recomendado que para cada caso sejam realizados ensaios de centrifugação para determinação de qual o melhor tipo de polímero e respectiva dosagem ótima (REALI, 1999).

A eficiência de remoção de sólidos em centrífugas é expressa em porcentagem através da seguinte fórmula (CORNWELL, 1990):

$$R = C_k (C_f - C_c) / C_f (C_k - C_c) \times 100\% \quad (3.12)$$

Onde,

C_k : Concentração de sólidos na torta (%);

C_f : Concentração de sólidos no lodo afluente à centrífuga (%);

C_c : Concentração de sólidos no líquido efluente da centrífuga (%).

PATRIZZI (1998), realizou uma série de ensaios em laboratório utilizando o lodo da ETA São Carlos/SP, de ciclo completo, que usa no processo o sulfato de alumínio. Nos experimentos obteve dosagem ótima de polímero catiônico de 3,6 g/kg SST na centrifugação. O valor de G^* que apresentou a maior concentração de sólidos foi o máximo investigado ($G^* = 1861$). O tempo $t = 60$ minutos para os ensaios de centrifugação foi o que se apresentou mais adequado para os tipos de lodo investigados.

Segundo CORDEIRO (1993), as primeiras centrífugas foram utilizadas para desaguamento de despejos de ETAs e ETEs nos EUA, durante o ano de 1920 em Milwaukee, Wisconsin, em 1921 em Baltimore, Maryland, porém não apresentaram

eficiência adequada para o tipo de resíduo, apresentando problemas de operação e manutenção.

REALI (1999), em levantamento bibliográfico, cita experiências nas décadas de 1960 a 1990, nos EUA. No final da década de 1960, as experiências com centrifugação de lodos de ETAs apresentavam resultados não conclusivos indicando teores de sólidos na torta centrifugada inferiores a 18%, valores ainda considerados baixos quando analisadas as condições de disposição final. Nas décadas de 1970 e 1980, com o avanço da técnica de centrifugação, foram conseguidos teores de sólidos na torta de ETAs de 16% a 28%, chegando até a 35% para casos de turbidez elevada.

Os resultados com a centrifugação de lodos gerados em sistemas de abrandamento de água para abastecimento que utilizam a precipitação química com aplicação de cal são bem melhores quando comparados com lodos de alumínio. Segundo KAWAMURA (2000), utilizando-se centrífugas decantadoras, para esses lodos, os resultados do teor de sólidos na torta podem se situar entre 30% e 70%. Ressalta como desvantagem a necessidade de um alto nível de manutenção e um alto custo operacional.

No Brasil, por ser pouco divulgada a utilização de centrífugas, PATRIZZI (1998) cita a instalação em funcionamento da Indústria Villares, Pindamonhangaba/SP e a ETA de Brasília/DF, da CAESB. A CAESB utiliza centrífugas para águas de lavagem de filtros que processam águas brutas com problemas de algas captadas no Rio Descoberto com resultados sempre superiores a 30% de sólidos totais na torta centrifugada. Outro estudo citado pela autora foi o realizado pelo DMAE (Departamento Municipal de Águas e Esgoto), Porto Alegre/RS. Os estudos foram realizados com os resíduos das ETAs São João e Belém Novo, na bacia do Rio Guaíba. Foram empregados três sistemas de remoção de água: centrífugas, filtro à vácuo

e prensa desaguadora com resultados da ordem de 90% de recuperação da água presente nos resíduos, cuja qualidade do líquido permite a recirculação no processo com baixo custo operacional.

3.4.2.2 Filtro Prensa de placas

A remoção de água através de filtro prensa de placas é um processo semicontínuo alimentado por batelada. O lodo, na maioria das vezes pré-condicionado, é encaminhado para as câmaras, onde as mantas ou telas filtrantes estão acondicionadas, até seu preenchimento. Por meio de aplicação de pressões diferenciais força-se o lodo sobre o meio filtrante fazendo com que a água seja removida. Os sólidos no interior das câmaras formam a torta de lodo desaguado.

A utilização de filtro prensa de placas produz uma torta com teor de sólidos maiores do que os filtros de esteira e centrífugas, geralmente, com o uso de condicionantes pode atingir concentração de sólidos de 30% a 40% (ASCE, 1996, apud MENDES, 2001), porém tem se restringido a situações em que o transporte e disposição final requerem resultados de teor de sólidos mais elevados.

As operações envolvidas nos filtros-prensa são basicamente a aplicação de pressão sobre a massa (lodo) e a filtração da água contida na massa.

A pressão de operação dos filtros varia de 2 a 15 bar (~ 2 a 15 MPa), podendo chegar, em certos casos, a até 20 bar. Essa pressão deve ser fixada em função do tipo de lodo e do teor de sólidos que se deseja na torta. A espessura da torta depende da filtrabilidade do lodo (CORDEIRO, 1999).

Alguns modelos de filtros prensa de placas dispõem de placas auxiliares, diafragmas, que permitem a aplicação de uma sobrepressão na torta formada,

normalmente com água pressurizada, aumentando a eficiência do equipamento. Esta inovação foi desenvolvida no Japão na década de 1980 e consiste na aplicação de uma membrana flexível na parte chanfrada das telas filtrantes.

CORNWELL (1990), citando os estudos realizados por DOE & MALMROSE (1985) em estação-piloto na cidade de Norfolk, Virginia, EUA, compararam a capacidade operacional dos filtros prensa de diafragma com os filtros prensa de placas convencionais e concluíram que o equipamento poderia obter 30% de sólidos na torta, sem nenhum condicionamento químico. A diminuição do ciclo de prensagem passava de 145 minutos para 55 minutos utilizando-se diafragma simples e 26 minutos para o de duplo diafragma.

Após a implantação do sistema em escala real em Nortfolk ocorreram resultados diferentes daqueles obtidos em escala piloto. Houve a necessidade de adição de cal entre 25% e 30% para condicionamento do lodo e substituição dos elementos filtrantes por apresentarem problemas de drenagem.

GRANDIN (1992), utilizando filtro prensa de placas, estudou o desaguamento do lodo de decantador da ETA Guaraú, São Paulo/SP, de ciclo completo e que utiliza o coagulante sulfato de alumínio. Teve como resultado uma torta de 25mm de espessura com teor de sólidos de 22,8%. A pressão aplicada ao sistema foi de 5 bar e o lodo foi condicionado com 5,0 g/kg de polímero aniônico.

3.4.2.3 Filtro Prensa de esteiras

O filtro prensa de esteiras também denominado de *belt-press*, desenvolvido na década de 1960, trabalha com lodo espessado introduzido entre duas

esteiras, em que uma delas é o meio filtrante. A compressão de uma esteira sobre a outra, por meio de roletes, provoca a drenagem do líquido.

A operação do filtro prensa envolve outras unidades preliminares como espessadores por gravidade, espessadores por flotação por ar dissolvido e espessadores por esteira. Uma alternativa de uso crescente é a operação em série com os espessadores por esteira, evoluindo para acoplamento de ambos os equipamentos em um único.

Nos EUA, os resíduos de filtros e decantadores de ETA convencional em Carborro, Carolina do Norte, eram equalizados em tanques a concentrações de 2 a 4% de sólidos e aplicados no *belt-press* que reduzia a média de 15% de sólidos. Esse material era removido por caminhões para destinação final.

Em Cubatão/SP, a Sabesp opera a ETA 3 com capacidade para tratar 4 m³/s, que utiliza no processo de coagulação o hidróxido férrico e está sendo aplicado o *belt-press* para tratamento dos resíduos de filtros e decantadores. Essas unidades operam continuamente com lodo com cerca de 2% de sólidos apresentando resultados de 18 a 22% de sólidos na torta final.

3.4.2.4 Filtro a vácuo

Os filtros a vácuo operam nos EUA desde 1872 e são utilizados para desaguamento de lodos industriais. O equipamento é um tambor em posição horizontal, suspenso e imerso em um recipiente contendo o lodo. O tambor é subdividido em setores que servem de suporte para o meio filtrante.

A operação se dá pelo lento movimento do tambor, variando de 1/8 a 1 (rpm) rotação por minuto. A submersão é de cerca de 1/4 das superfícies externas. Pressões negativas e positivas são aplicadas alternadamente, durante cada volta. Esta

operação permite que os sólidos depositem-se sobre a superfície e a água drenada através do lodo e da superfície filtrante é recolhida.

CORDEIRO (1999), em pesquisa bibliográfica, cita diversos estudos com o sistema de filtração a vácuo onde foram encontrados resultados de concentração de sólidos após desaguamento que variam de 20 a 40% de sólidos. Relata, ainda, que vários autores têm demonstrado restrições quanto à utilização destes equipamentos para remoção de água de lodos de alumínio, demonstrando o necessário condicionamento do lodo com altas dosagens de polímeros e maior custo operacional do sistema em relação aos outros.

3.4.3 Sistemas naturais de remoção de água de lodo

Os sistemas naturais de remoção de água livre de lodo de ETAs compreendem as Lagoas de Lodo ou de Secagem e os Leitões de Secagem. Esses sistemas têm como fator principal a condição climática, porém, a disponibilidade de área pode ser fator decisivo na definição do método.

3.4.3.1 Lagoas de lodo ou de secagem

O clima é o principal responsável pelo desaguamento do lodo pelo método de lagoas de lodo ou de secagem. Em climas quentes e áridos, a secagem é realizada pela radiação solar e em climas frios, o congelamento é o responsável pelo processo (CORNWELL, 1987). Para o Brasil, esse método pode ser vantajoso por possuir características climáticas favoráveis e disponibilidade de terra com custo acessível.

O processo de desaguamento e secagem em lagoas de lodo é baseado em dois princípios: drenagem da água livre e evaporação.

A drenagem da água decantada no sistema deve ser removida continuamente ou de forma intermitente, podendo ser recirculada para o início do tratamento. A retirada do decantado é importante para que a massa de sólidos fique exposta e o processo de evaporação seja eficaz para a formação da massa de sólidos. Essas condições têm influência direta no ciclo de secagem.

O ciclo de secagem varia, portanto, em função de diversos fatores que devem ser analisados nos critérios de projeto como: clima, permeabilidade do solo, característica do lodo, profundidade da lagoa e área superficial (CORDEIRO, 1999).

O clima deve ser analisado sob os seguintes aspectos:

- Precipitação: índices pluviométricos, distribuição sazonal e anual;
- Temperaturas extremas;
- Taxa de evaporação (média anual e flutuações anuais e sazonais)

A posição de fundo da lagoa deve obedecer o mínimo de 0,50m acima do nível de lençol freático, ou de acordo com as normas locais, e a permeabilidade do solo deve estar entre $4,2 \times 10^{-4}$ a $1,4 \times 10^{-3}$ cm/s.

As lagoas de lodo possuem profundidades que variam de 0,7 a 1,4m e como relata CORDEIRO (1999) existem sistemas com até 3,0m de profundidade. A profundidade, bem como a área superficial depende das condições de precipitação, evaporação, concentração e volume de lodo. Segundo KAWAMURA (2000) a taxa de aplicação (base peso seco) por área em lagoas de secagem varia de 40 kg/m² para regiões úmidas, a 80 kg/m² para regiões áridas.

A operação e manutenção das lagoas de secagem envolvem: aplicação do lodo, remoção do decantado, remoção dos sólidos no final de cada ciclo e eventuais

reparos em taludes.

A TABELA 3.7 apresenta a relação horas-homen/ano para operação e manutenção de lagoas para diversas capacidades de aplicação de sólidos, segundo a USEPA (1979), *apud* CORDEIRO (1999). E observa, ainda, que as áreas ocupadas para lagoas podem ser duas ou três vezes maiores que a dos leitos de secagem para a mesma capacidade.

TABELA 3.7 Horas-homen/ano para operação e manutenção de lagoas

Sólidos secos aplicados (ton/ano)	Operação	Manutenção	Total
100	30	55	85
1.000	55	90	145
10.000	120	300	420
50.000	450	1.500	1.950

Fonte: USEPA (1979), *apud* CORDEIRO (1999)

No Brasil, conforme levantamento realizado por CORDEIRO (2003), duas ETAs implantaram o sistema de remoção de água de lodo por meio de Lagoas. Em 1991 a ETA Taiaçupeba, São Paulo, Capital, implantou o sistema para os lodos de decantadores e lodos espessados em tanque de recuperação de água de lavagem de filtros. O sistema se mostrou totalmente ineficiente em função do clima com alta umidade e a impermeabilização do fundo pelas finas partículas presentes nos lodos não permitindo a evaporação nem a percolação.

Outra instalação citada foi a da ETA Rio Claro, São Paulo, que também apresenta problemas. Nessa instalação os problemas levantados estão relacionados com o projeto e a operação. Apresenta tempo de remoção da água muito longo e problemas com a remoção manual do da água decantada (sobrenadante) através de tubos acoplados.

3.4.3.2 Leitos de Secagem

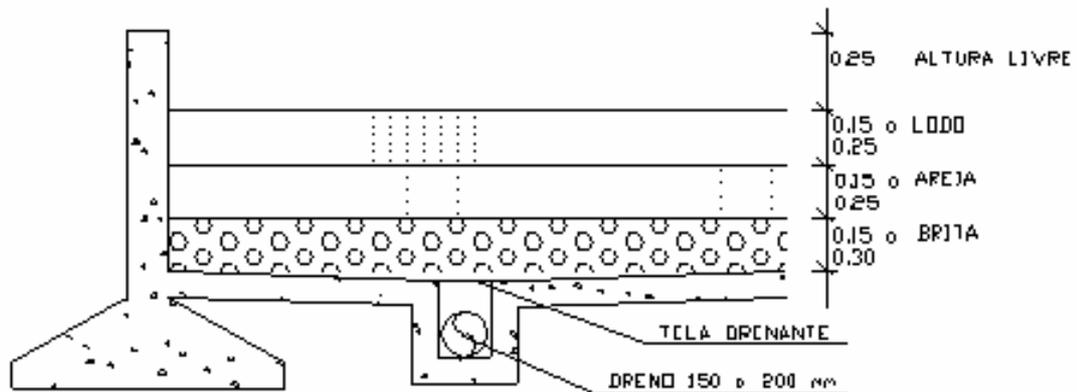
CORDEIRO (1999) apresenta como um dos métodos utilizado já há alguns anos para a remoção natural da água livre dos lodos gerados em ETAs e ETEs, o leito de secagem. A aplicação deste método pode minimizar os impactos ambientais, reduzindo os volumes de despejos e possibilitando o reuso da água livre.

Segundo pesquisas, este método vem sendo aplicado desde 1900, nos EUA, para os lodos de ETEs onde praticamente 2/3 das estações utilizam leitos para tratamento dos lodos.

Algumas evoluções ocorreram na tecnologia dos leitos fazendo surgir os leitos de secagem a vácuo, leitos de secagem de tela em cunha, leitos tradicionais e leitos pavimentados, segundo REALI (1999).

Os leitos tradicionais são constituídos de tanques rasos apresentando como meio filtrante uma camada de brita com 0,15 a 0,30 m de espessura recoberta com duas ou três camadas de areia de granulometria diferente com 0,15 a 0,25m de altura. O sistema completo, como ilustrado na FIGURA 3.10, inclui também o sistema drenante composto por canaletas e tubulações de captação do drenado. Esta estrutura e a forma de funcionamento têm se mantido as mesmas, não tendo sido avaliadas mudanças em suas características de forma mais efetiva.

O tempo de drenagem nos leitos é o principal fator na remoção da água livre o que facilita as etapas posteriores. A rápida remoção da água livre permite que a massa sólida inicie sua retração, formando rachaduras que possibilitam a passagem de água de eventuais precipitações de chuva.



Fonte: CORDEIRO (1999)

FIGURA 3.10 Corte esquemático de leito de secagem

O tempo de remoção da água dos lodos nos leitos de secagem é a somatória do tempo de drenagem e de evaporação da água. Esta última tem influência das condições climáticas da região que devem ser observadas como fator importante nos projetos.

Considerando como fator fundamental na remoção da água livre dos lodos, o tempo de drenagem, CORDEIRO (1993, 2000) realizou estudos com diversos arranjos, em escala piloto, modificando os leitos de secagem tradicionais, como pode ser verificado na FIGURA 3.11.

A primeira modificação (modificado 1) realizada foi a colocação de manta geotêxtil sobre a camada filtrante do leito que possibilitou a remoção mais efetiva da água livre dos lodos, mesmo utilizando areia grossa e fina de construção como meio filtrante em espessuras de 10 e 5cm. Os resultados obtidos nessa pesquisa evidenciaram que nem a areia nem a espessura da camada filtrante eram decisivas na remoção de água livre. Continuando os estudos, no PROSAB 2, tema IV, foi desenvolvida a proposta (modificado 2), ilustrada na FIGURA 3.11 em que a areia foi removida, ficando o leito

constituído de uma camada de brita # 1 com 5 cm de espessura sobreposta por manta geotêxtil.

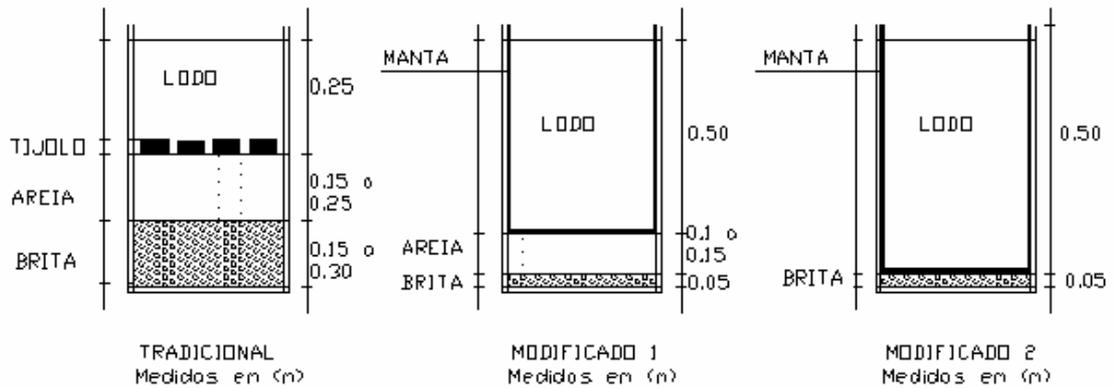


FIGURA 3.11 Esquemas ilustrativos dos sistemas de leitos de secagem tradicionais e modificados por CORDEIRO (1993 e 2000)

Esta evolução levou a uma brusca redução do tempo de drenagem, fator fundamental no processo de remoção da água livre do lodo. Apresentou também grande melhoria na qualidade do drenado.

As melhorias de condição de drenagem levaram o pesquisador a denominá-lo de *Leito de Drenagem*. A manta que apresentou o melhor desempenho na drenagem foi a de densidade superficial de 600 g/m^2 . Foram também testadas outras mantas comerciais de características diferentes, conforme TABELA 3.8.

TABELA 3.8 Características das mantas geotêxteis utilizadas nos experimentos realizados por CORDEIRO (2001)

Características	Unidades	150g/m^2	200g/m^2	500g/m^2	600g/m^2
Espessura	mm	1,5	2	4,1	4,5
Porosidade	%	>90	>90	>90	>90
Permeabilidade normal	cm/s	3×10^{-1}	3×10^{-1}	3×10^{-1}	3×10^{-1}
Abertura	μm	150	130	70	60

Em escala real, o pesquisador propõe que o leito de drenagem seja constituído de uma laje de fundo em concreto magro com inclinação de 2% a 3%, para os pontos de coleta, com paredes laterais em alvenaria de 60 cm de altura. Sobre a laje aplica-se a camada suporte de brita e sobre ela a manta geotextil. A coleta do drenado pode ser através canaletas e tubulação de PVC encaminhando para caixas coletoras.

Foram também identificados aspectos importantes que devem ser levados em consideração para um projeto de Leito de Drenagem, como:

- Definição da área de implantação (distância da ETA aos leitos, cotas relativas das áreas da ETA e leito, acessos e disponibilidade de energia);
- Transporte do lodo dos decantadores aos leitos (dimensionamento da tubulação para evitar sedimentação);
- Custos de projeto, construção, operação e manutenção devem levar em consideração a disponibilidade de materiais e mão de obra para as várias etapas;
- Operacionalidade do sistema. Após a secagem do lodo, as mantas são retiradas com os sólidos, sendo estes transportados para destinação final e as mantas encaminhadas até baias constituídas de um lastro de concreto magro onde são lavadas com hidrojateamento e depois retornadas na posição no leito de drenagem.

O reuso e recirculação do drenado, resultantes deste método, pode se constituir numa alternativa sustentável do ponto de vista técnico, econômico e ambiental.

A disposição dos sólidos residuais no sistema pode ser em aterro sanitário, obedecendo às condições estudadas por SILVA (2000) que recomenda a codisposição com materiais de baixo conteúdo de sólidos orgânicos, em relação ao lodo de ETA, para evitar formação de gases graxos voláteis, ou de acordo com estudos

realizados por CORDEIRO (1981), podem ser incorporados como agregados para fabricação de elementos utilizados na construção civil.

3.4.3.3 Condições de transporte do lodo

O lodo de decantadores é normalmente transportado até o local de desagüamento através de tubulações. Essas tubulações devem ser dimensionadas de modo a não permitir deposição de sólidos por sedimentação, mantendo a perda de carga em condições de livre escoamento.

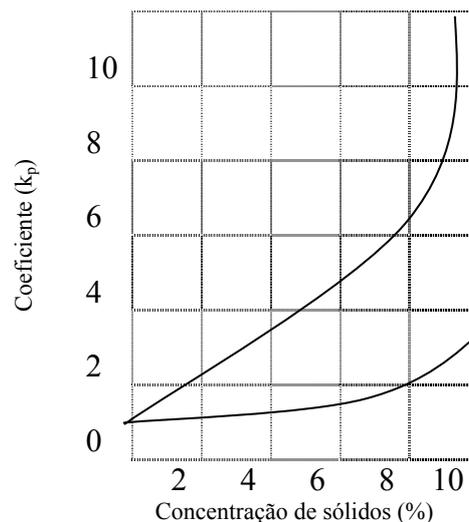
A operação de descarga de decantadores varia de acordo com o tempo de limpeza refletindo diretamente nas condições de escoamento. Normalmente os decantadores são dotados de comportas ou registros para a realização de limpeza. No início da operação, a carga hidráulica é dada pela diferença entre o nível d'água remanescente no decantador e o ponto de lançamento, fazendo com que o sistema funcione como conduto forçado. Com o passar do tempo de descarga, a carga diminui e as condições de escoamento se modificam (CORDEIRO, 2001). Ainda, a concentração de sólidos, devido ao adensamento, pode dificultar a condição de escoamento.

Para a movimentação do lodo é importante observar suas características físicas. CORNWELL (1999), citado por OLIVEIRA et al (2002), usando os testes de limite de Atterberg para classificar o estado físico do lodo, concluiu que os limites que se mostraram mais adequados ao lodo foram o limite líquido e de plasticidade. Os lodos testados tinham limite líquido entre 15% e 20% de concentração de sólidos, no entanto, valores abaixo desta faixa, mas próximos, resultariam em um material ainda com água livre associada, mas podendo não fluir. ANDERSON (1998), também citado, recomenda concentração de 8% a 10% de sólidos no lodo para bombeamento.

De acordo com KAWAMURA (2000), é importante observar a característica tixotrópica que o lodo apresenta. Esta característica é a transformação isotérmica gel-sólido que se desenvolve por agitação podendo ser considerada como um fenômeno do adensamento. Quando o lodo em estado gelatinoso é submetido a agitação, este se transforma em solução, que ao retornar ao repouso volta para o estado gelatinoso.

A perda de carga nas tubulações pode ser calculada através das fórmulas tradicionais da hidráulica para água como: Darcy-Weissbach; Manning e Hazem-Williams. Porém, a natureza do lodo, como concentração de sólidos, deve ser considerada. Assim, o resultado deve ser multiplicado por um coeficiente que varia em função da concentração de sólidos presentes no lodo.

Os valores dos coeficientes de perda de carga apresentados na FIGURA 3.12 devem ser utilizados, por segurança, como aproximações, por serem utilizados para o transporte de lodos de ETEs, enquanto ainda não há uma definição sobre a forma de transporte de lodos de ETAs (CORDEIRO, 2001).



Fonte: MUÑOZ (1994) *apud* CORDEIRO (2001)

FIGURA 3.12 Avaliação do coeficiente de perda de carga, K_p , para transporte de lodo de ETEs

A velocidade de transporte do lodo por gravidade deve estar entre 0,75 m/s (KAWAMURA, 2000) e 2,4 m/s (MUÑOZ, *apud* CORDEIRO, 2001) para evitar a deposição de sólidos no interior da tubulação.

Quando a condição de transporte do lodo por gravidade não é possível, há a necessidade do emprego de sistemas de recalque por bombas. Segundo RICHTER (2001), as bombas usualmente aplicadas são as bombas centrífugas, cuja aplicação é restrita a lodos diluídos. Já as bombas de deslocamento positivo, podem ser aplicadas tanto para lodos diluídos, como os adensados ou mesmo desaguados.

Entre as bombas de deslocamento positivo mais utilizadas estão as de cavidade progressiva, também denominadas de bombas helicoidais, que geram pressões de 7 a 48 bar e vazões de 1 m³/h a 200 m³/h. Apresentam rendimentos de 65% a 75% podendo recalcar líquidos abrasivos e viscosos (NETZSCH, 2003).

3.5 Recuperação da água de lavagem de filtro

A destinação inadequada das águas de lavagem de filtros, como ainda é comum na maioria das ETAs que utilizam a coagulação química, vem sendo coibida com um controle rigoroso das autoridades sanitárias. Assim, várias ETAs vêm praticando a recuperação das águas de lavagem de filtros ao invés de lançá-las na natureza.

Experiências têm demonstrado que a recuperação, de modo adequado, é viável economicamente. Tendo em vista que o teor de sólidos da água de lavagem é muito baixo, 0,05 a 0,5%, e o volume é grande, cerca de 1 a 5% da água tratada da ETA, a recuperação da água de lavagem não é feita só para eliminar o problema dos impactos ambientais causado pela sua descarga no corpo receptor, mas, também, para

reaproveitar economicamente essa grande quantidade de água, principalmente em regiões onde há escassez de água ou o recalque de água bruta é feito a um custo de energia elevado.

Alguns cuidados devem ser tomados quando as águas de lavagem de filtros são bombeadas para as unidades iniciais do tratamento. Este retorno pode, freqüentemente, causar uma sobrecarga hidráulica na instalação e tornando-se então necessário uma unidade de equalização de modo que o volume retornado represente no máximo 10% da vazão da água bruta que chega à estação (KAWAMURA, 2000 e SOUZA FILHO, 1998).

O retorno das águas de lavagem ao início do tratamento tem melhorado o desempenho das unidades de floculação e decantação, principalmente em instalações que tratam água com baixa turbidez, pois os lodos recirculados servem como núcleos para o crescimento dos flocos (YUZHU, 1996, *apud* FERNANDES, 2002).

Entretanto, HARTUNG (JAWWA, 1969), citado por FERNANDES (2002), publicou que o retorno da água de retrolavagem de filtros, freqüentemente, sobrecarrega a instalação de maneira desproporcional em relação aos parâmetros normais do tratamento, a menos que seja tratada antes de ser recirculada. Na operação de retrolavagem, os flocos coagulados contidos na água de lavagem podem ser quebrados pela turbulência do fluido. É difícil resedimentá-los num decantador ou recoagulá-los com a mesma dosagem de coagulante utilizado para a água bruta, podendo provocar com isso uma perda de qualidade da água. Deste modo, uma sedimentação prévia da água de lavagem antes de ser retornada deve ser considerada.

Alguns estudos sobre a eficiência da decantação da água de lavagem de filtros têm sido realizados em tanques de equalização. Esses tanques funcionam como um reservatório de nível oscilante, acumulando a água descarregada durante a lavagem

dos filtros com grande vazão por pouco tempo. Devido à grande turbulência durante o enchimento e níveis variáveis durante o escoamento e ainda, o certo tempo de detenção da água no tanque, a eficiência de remoção de sólidos pode não se apresentar satisfatória. Mas como é interessante a recirculação de certa quantidade de partículas para atuar como núcleos de floculação, não se tem notado grandes preocupações com relação ao projeto e eficiência de tanques de equalização e decantação (GRANDIN, 1992).

Segundo SARON (2001), atualmente cerca de 2.950 m³ por dia de água de lavagem de filtros são recuperadas na ETA Guaraú/SP, operada pela Sabesp, com os tanques de equalização operando sem a fase de decantação e não apresentando efeitos adversos para o processo da ETA.

A ETA Monte Aprazível, também operada pela Sabesp, vem utilizando tanques de equalização para as águas de lavagem de filtros com recuperação sem a fase de decantação e não tem apresentado problemas operacionais no processo de tratamento da fase líquida.

3.6 Análise crítica sobre o problema dos lodos de ETA

No Brasil, são poucos os trabalhos sobre o tema remoção de água de lodo gerado em estações de tratamento de água, principalmente os que tratam sobre a utilização de meios naturais como os Leitos de Secagem.

Com relação aos Leitos de Secagem, segundo DILLON *apud* CORDEIRO (1999), em cerca de 500 ETAs analisadas nos EUA, somente 10% aplicam este método para redução dos volumes de lodos gerados em decantadores.

No Brasil, não existe registro de utilização de Leitos de Secagem como solução definitiva para os problemas de lodos de Estações de Tratamento de Água.

Dos registros existentes no Brasil, além dos estudos desenvolvidos por CORDEIRO (1999, 2001) e mencionados anteriormente, podem ser citados aqueles realizados por BISOGENIN et all. (1999) e ABOY (1999) *apud* BIDONI et all (2001).

BISOGENIN et all (1999) realizou estudos com Leito de Secagem implantado, em escala piloto, na ETA Guariroba, na cidade de Campo Grande/MS. O leito é do tipo convencional com o meio drenante constituído de camada suporte de brita # 3 e brita # 1 e camada de areia de 10cm de espessura. Os resultados apresentaram redução de teor de umidade variando de 48,3% a 73% para lodos com 0,4% de sólidos totais e demonstrou ser compatível com as condições climáticas da região.

Os estudos citados por BIDONI et all (2001) foram realizados com Leitos de Secagem, em escala piloto, no IPH/UFRGS. Foi utilizado como meio drenante as mantas geotexteis (200 g/m²). Neste experimento foram obtidos resultados de redução de umidade de cerca de 10% com período de utilização do leito de 10 dias e significativa influência no tempo de drenagem, na quantidade, na cor e na turbidez do líquido drenado.

É importante observar que todos os estudos apresentam resultados favoráveis para utilização desse método como solução para os lodos de ETAs no Brasil. Porém, a utilização efetiva dessa solução nas ETAs que apresentam condições viáveis, principalmente com disponibilidade de área, não é realidade.

4 OBJETO DE ESTUDO – SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE CARDOSO / SP

4.1 Manancial

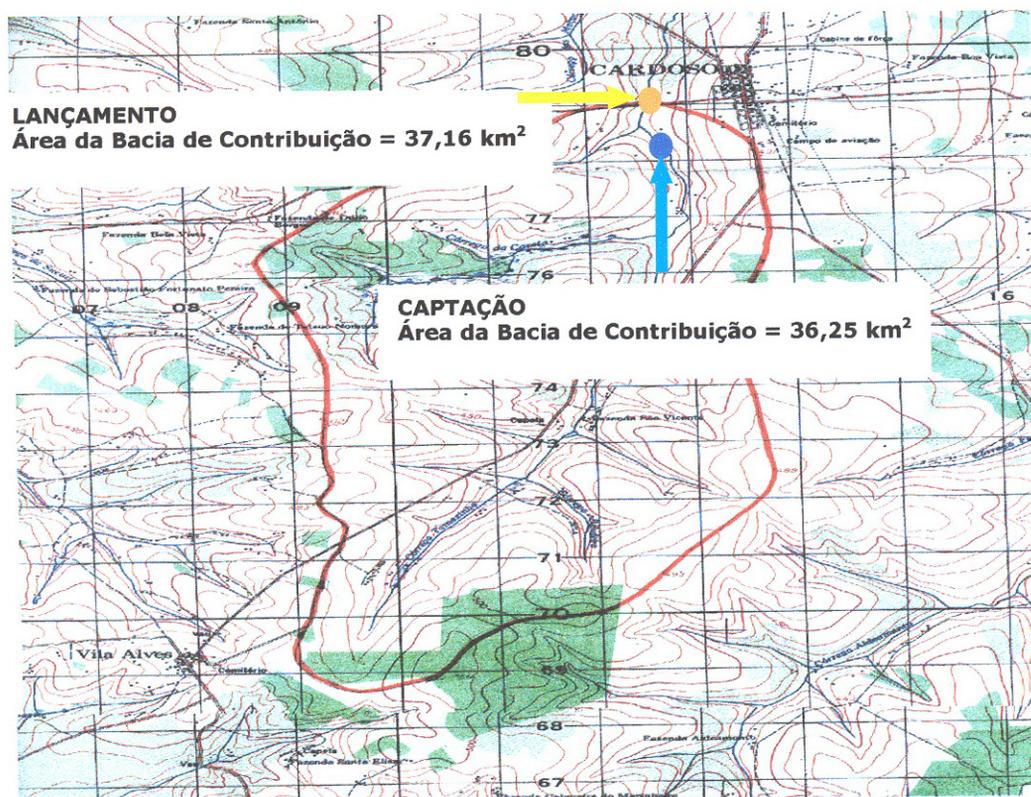
O manancial superficial utilizado no sistema de tratamento de água de Cardoso é denominado Córrego do Tomazinho contribuinte direto do Rio Grande em área de inundação do Lago da Usina Hidrelétrica Água Vermelha. Pertence à bacia do Rio Grande que compõe a Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo e Grande – UGRHI 15. Está localizado no Noroeste do Estado de São Paulo.

O corpo d'água, quanto a condição de lançamentos, está enquadrado na Classe 2 de acordo com o Decreto 10.755/77 Governo do Estado de São Paulo, classificação prevista no Decreto 8.468/76, e quanto ao seu uso preponderante, conforme Resolução CONAMA nº 20/86.

A captação encontra-se nas coordenadas UTM 612,739 Km E e 7777,030 km N (FIGURA 4.1) com bacia de drenagem de 36,25 km² e vazão mínima ($Q_{7,10}$) de 54,00 L/s.

O ponto de lançamento dos resíduos da ETA se situa nas coordenadas UTM 612,645 km E e 7779,090 km N com uma bacia de drenagem de 37,16 km² (FIGURA 4.1) e uma vazão mínima ($Q_{7,10}$) de 56,00 L/s.

O estudo da vazão mínima é determinante para a quantidade de água disponível para outorga de captação e lançamento e para estudos de autodepuração e capacidade suporte do corpo receptor. A determinação das vazões mínimas ($Q_{7,10}$) foram realizadas de acordo com a Regionalização Hidrológica do Estado de São Paulo e metodologia desenvolvida pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (Convênio DAEE – USP, 1997).



Fonte: Carta geográfica 1:50000 (IBGE, 1965) Brejo Alegre

FIGURA 4.1 Área de contribuição da bacia de captação e de lançamento

A TABELA 4.1 apresenta as características da água bruta captada no Córrego Tomazinho em diversos períodos dos anos de 2001 a 2003.

TABELA 4.1 Características da água bruta – 2001 e 2003

Ano	2001		2002		2003	
	Jan/01	Jul/01	Jan/02	Jul/02	Jan/03	Mar/03
Mês						
Parâmetros						
pH	7,1	7,1	7,1	7,2	7,0	7,3
Cor Aparente (uC)	102	70	115	70	100	102
Turbidez (uT)	63	8,9	124	11,7	6,1	38,2
Ferro (mg/L)	6	1,07	5,19	0,9	NR	2,2
Manganês (mg/L)	0,03	< 0,5	<0,05	< 0,05	NR	< 0,5
Alcalinidade Total (mg/L)	39	35	35	41	36	39
Sólidos Totais (mg/L)	NR	NR	NR	NR	NR	NR
Coli. Total (NMP/100ml)	1,6x10 ⁴	6,8x10 ³	2,7x10 ⁴	8,6x10 ⁴	2,2x10 ⁵	1,6x10 ⁴
Eschirichia Coli (NMP/100ml)	0,6x10 ³	< 1	1,32x10 ³	7,4x10 ³	6,3x10 ⁴	0,6x10 ³

NR – Não realizado

Fonte: Laudo de análise físico-química e bacteriológica - RTOC (2001/2003)

O manancial à montante do ponto de captação é utilizado apenas para dessedentação de animais e apresenta uma água com pouca variação de cor aparente em relação a turbidez. Na FIGURA 4.2, observa-se a relação entre os valores de cor e turbidez para os anos de 2001 a 2003. Exceto para o mês de maio de 2001, que apresentou uma relação de 14 vezes entre cor e turbidez, os demais meses apresentam uma constante de cerca de 6 vezes. Quanto a esses dois parâmetros pode-se concluir que a água bruta possui característica adequada para tratamento em ETA de ciclo completo.

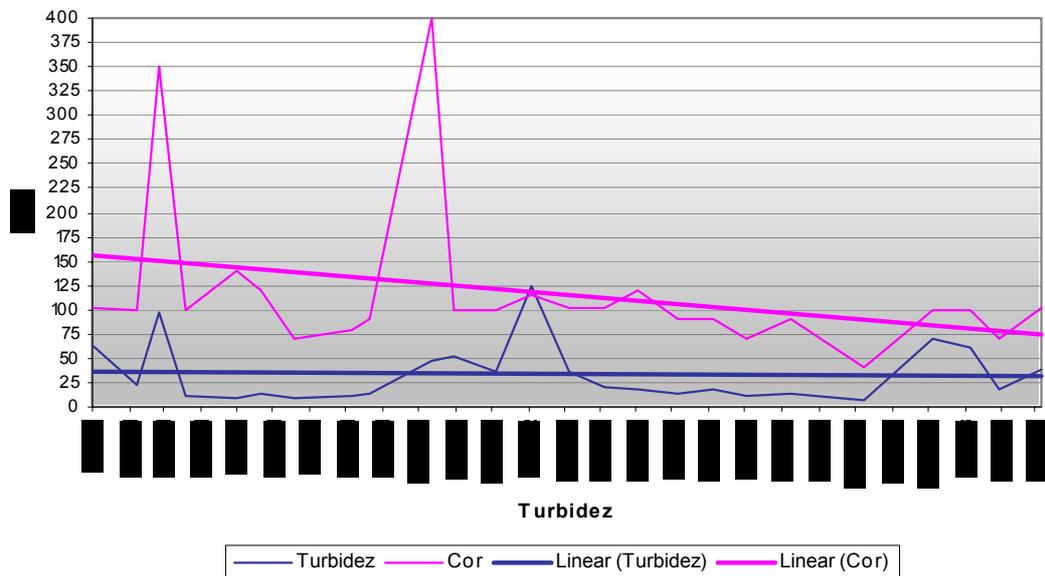


FIGURA 4.2 Característica de Cor e Turbidez para os anos de 2001 a 2003

A FIGURA 4.3 apresenta a variação sazonal histórica dos valores da Turbidez média para os meses de Janeiro/2001 a Dezembro/2003. Observa-se que o ano de 2000 apresentou uma variação mais freqüente nos valores de turbidez nos meses de abril a agosto em relação aos outros anos, devido às precipitações pluviométricas atípicas para a época e região.

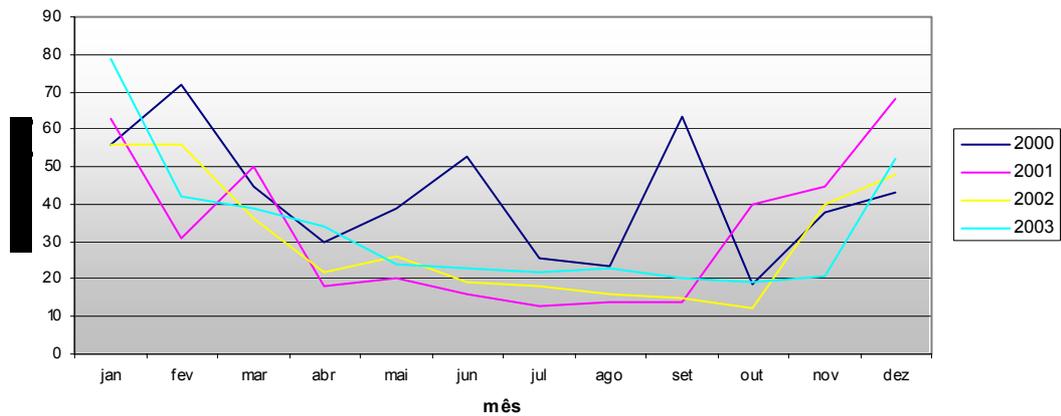


FIGURA 4.3 Variações sazonais da Turbidez média mensal - 2000 a 2003

4.2 Captação

A captação é constituída de barragem de nível ou de soleira submersa que alimenta um canal em concreto onde se encontra a tomada d'água da Estação Elevatória de Água Bruta - EEAB.

A EEAB dispõe de dois conjuntos moto-bombas de eixo horizontal, com potência de 11KW, 220V, capacidade de bombeamento de 135m³/h e altura manométrica de 20mca. Os conjuntos funcionam, em regime alternado, comandados por painel automatizado. O nível de sucção é negativo.

4.3 Estação de Tratamento de Água

▪ Tipo e capacidade de tratamento

A ETA em operação é do tipo convencional ou de ciclo completo com unidades de coagulação, floculação, decantação e filtração rápida. Sua construção e operação data de 1980.

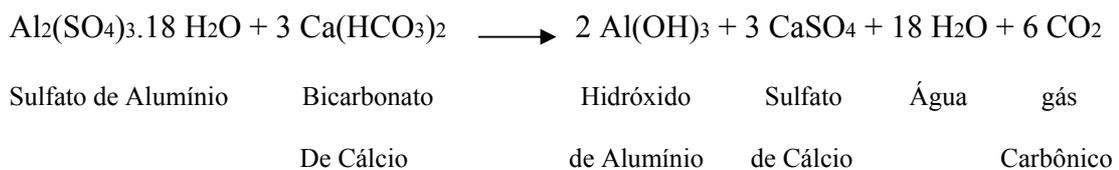
A capacidade nominal de tratamento é de 25 L/s. Atualmente a ETA trabalha em média 7,50 horas por dia com média de tratamento de 31 L/s.

▪ **Dosagens de Sulfato de Alumínio**

No processo é utilizado o Sulfato de Alumínio (ferroso) sólido em forma granulada, conhecido como Alúmem de Filtro, de fórmula química $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$, com as seguintes especificações:

Alumínio solúvel (Al_2O_3)	14 %
Ferro solúvel (Fe_2O_3)	2,5 %
Material insolúvel	6,0 %
Acidez livre	< 0,5 %

A coagulação com o Sulfato de Alumínio é realizada na faixa de pH de 5,0 a 8,0, reagindo com a Alcalinidade natural na proporção de 1 mg/l (ppm) de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ para 0,44 mg/l (ppm) de Alcalinidade, da seguinte forma:



A dosagem na ETA é pela via úmida e a preparação do Sulfato de Alumínio é realizada em tanques apropriados para dissolução do produto. Os tanques são dotados de agitadores mecânicos para homogeneização da solução. A mistura é deixada em repouso por cerca de 24 horas, sendo usado apenas o sobrenadante.

O produto é preparado com uma concentração de 3%. Através de um densímetro é medida a densidade da solução que ao ser comparada com os dados da

TABELA 4.2 é conhecida a concentração em g/L para regiões com temperatura média entre 20° a 24°C.

TABELA 4.2 Concentração solução de Sulfato de Alumínio granular (20° a 24°C)

Densidade	Concentração (g/L)	Densidade	Concentração (g/L)
1005	18	1033	69
1008	23	1035	73
1010	28	1038	78
1013	33	1040	82
1015	37	1043	87
1018	42	1045	91
1020	46	1048	96
1023	51	1050	100
1025	55	1053	105
1028	60	1055	109
1030	64	1058	114

Fonte: Sabesp

TABELA 4.3 Dosagem do Sulfato de Alumínio em função da turbidez

Turbidez (Ut)	Sulfato de Alumínio (ppm)		
	Mínima	Máxima	Média
10	5	17	10
20	11	22	17
40	13	25	19
60	14	28	21
80	15	30	22
100	16	32	24
150	18	37	27
200	19	42	30
300	21	51	36
400	22	62	39
500	23	70	42

Fonte: Sabesp

O cálculo para a determinação da quantidade do produto a ser aplicado na água bruta obedece a seguinte equação:

$$Q_d = Q \cdot \text{ppm} / C \quad (4.1)$$

Q_d - Vazão do Sulfato de Alumínio na dosadora (mL / minuto);

Q - Vazão da água Bruta da ETA (L / minuto);

ppm - Determinado em função do resultado da análise de turbidez na água bruta e extraída da TABELA 4.3. (1 ppm = 1 mg/L);

C - Concentração do sulfato de Alumínio (g/L), determinado com o auxílio da TABELA 4.2.

O processo de compra do Sulfato de Alumínio, na Sabesp, é centralizado na cidade de São Paulo e são analisadas as características quanto à toxicidade e demais condições exigidas para o fornecimento e recebimento do produto conforme a série de normas, especificações e procedimentos (NBR 11.176; 11.177; 11.178; 11.179; 11.180; 11.181 e 11.182) da ABNT.

Na TABELA 4.4 são apresentados os resultados de análises quanto à toxicidade do Sulfato de alumínio utilizado pela Sabesp.

TABELA 4.4 Resultados de Análises de Toxicidade (mg/Kg)

Ano	Fornecedor	Mercurio	Arsênio	Selênio	Cádmio	Cromo	Chumbo	Prata
2000	A	< 0,8	< 0,9	< 0,9	< 0,5	2,8	14,0	0,8
	B	< 0,7	< 0,9	< 0,9	< 0,5	3,6	12,0	0,8
2001	A	1,0	0,6	< 1,0	0,0	3,2	14,0	0,8
	C	< 0,5	1,0	< 1,0	0,8	2,4	13,6	1,4
		0,9	0,6	< 1,0	0,0	2,0	14,0	0,8
	A	0,5	1,0	< 1,0	0,8	3,6	11,2	1,4
2002	A	< 0,5	1,0	< 1,0	0,8	3,2	12,0	2,0
	C	< 0,5	2,0	< 1,0	0,8	3,6	8,0	2,0
Limites (mg/L)		< 0,7	< 33	< 6,6	< 3,3	< 33	< 33	< 33

Fonte: Sabesp

A aplicação da solução de Sulfato de Alumínio se dá num dispositivo de mistura rápida constituído de uma calha Parshall junto à entrada do floculador.

Na FIGURA 4.4 estão representadas graficamente as dosagens médias mensais de Sulfato de Alumino em relação a Turbidez para os anos de 2000 a 2003. O

ano de 2000 foi atípico em relação aos demais anos apresentando níveis de turbidez elevados nos meses considerados de baixos índices pluviométricos.

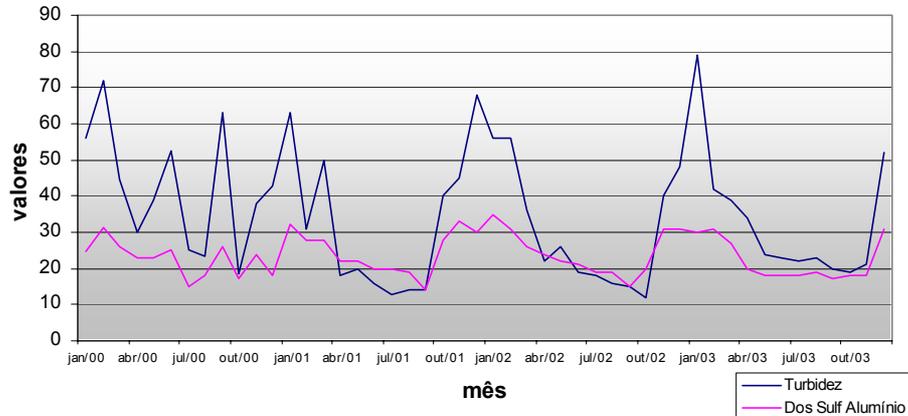


FIGURA 4.4 Dosagens médias mensais de Sulfato de Alumínio em relação a Turbidez - 2000 e 2003

O consumo mensal de sulfato de alumínio granular, em kg, para os anos de 2002 e 2003 está representado na FIGURA 4.5.

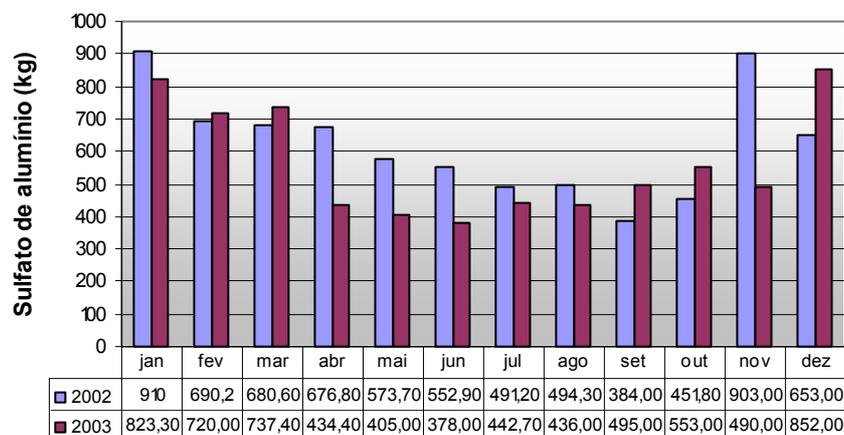


FIGURA 4.5 Consumo mensal de Sulfato de Alumínio, em kg - 2002 e 2003

▪ Floculador mecânico

O floculador possui geometria retangular de 6,00 x 2,00m e lâmina d'água de 2,40m e volume total de 28,80m³. O floculador é compartimentado em três câmaras em série de 2,00 x 2,00m o que proporciona uma maior aproximação do tempo

de detenção da água e o tempo teórico de floculação. Esta compartimentação permite o emprego de valores decrescentes de gradientes ao longo do floculador melhorando seu desempenho. Os agitadores instalados são de paletas verticais e possuem velocidades decrescentes variando de 6 rpm na 1ª câmara; 4 rpm na 2ª câmara e 2,5rpm na 3ª câmara gerando diferentes gradientes. O tempo de floculação total é de 15 minutos para 32 L/s.

▪ Decantadores

A unidade de tratamento possui dois decantadores convencionais retangulares de fluxo horizontal com dimensões de 10,06 x 3,30m cada, altura total de 3,83m e lâmina d'água de 3,42m. O volume de cada decantador é de 113,5m³ com área útil de 33,20m² (FIGURA 4.6). Apresentaram taxa média de decantação nos últimos três anos de 12,77 (m³/m² .dia) para uma produção média de 883,60 m³/dia.



FIGURA 4.6 Decantadores convencionais ETA Cardoso

A lavagem dos decantadores, antes deste estudo, era realizada a cada 180 dias utilizando-se da carga hidráulica proporcionada pela lâmina d'água acima da camada do lodo. Através de abertura de válvulas gaveta de 150mm de diâmetro os resíduos dos decantadores fluem por canaletas de fundo até tubulação de transporte para o lançamento final no Córrego Tomazinho. Os decantadores não possuem zona de acumulação de lodo.

A lavagem das paredes e limpeza final é realizada através de jatos d'água de alta pressão e contribui com cerca de até 3,00 m³ de água no descarte do lodo.

A operação de descarga e lavagem dos decantadores não é recomendada por nenhum padrão de monitoramento de parâmetros físico-químicos e microbiológicos de qualidade da água. Vale ressaltar que, embora não atenda a nenhuma recomendação técnica para a operação, nunca houve anomalias na água final para distribuição por motivos desta operação.

▪ **Filtros**

Os filtros implantados são do tipo rápido por gravidade constituindo três unidades de filtração com dimensões de 3,00 x 2,50m. O sentido de escoamento é o descendente. A taxa média de filtração no ano de 2002 foi de 39,25 (m³/m² dia).

O leito filtrante possui camadas de seixos rolados e pedrisco com diâmetros que variam de 0,45 mm a 25 mm e camada superior em antracito.

A lavagem é realizada com água tratada, no sentido contra-fluxo, com duração média de 5 minutos, conforme recomenda RICHTER et al (1995), e vazão máxima de 100 L/s por filtro. A necessidade da lavagem dos filtros é analisada pelas condições de transpasse e/ou perda de carga hidráulica.

A perda média de água de lavagem de filtros foi de 1,69% para os anos de 2002 e 2003, representando um volume de 5.320,00 m³ por ano.

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

5.1 Considerações iniciais

O presente trabalho envolveu o estudo e avaliação de um sistema de manejo dos resíduos de ETA convencional através de tecnologia integrada de Leito de Drenagem para os Lodos de decantadores (LETA) e de Sedimentador para as Águas de Lavagem de Filtros (ALAF), visando a minimização de impactos ambientais e reuso da água na ETA – Cardoso, operada pela SABESP.

O desenvolvimento dos trabalhos teve, inicialmente, a caracterização do objeto de estudo com o levantamento de projetos e dados históricos de vazão, consumo de produtos químicos, características da água bruta e as condições operacionais e métodos aplicados para limpeza dos decantadores e lavagem dos filtros, conforme descritos no item 4 deste trabalho. Os dados e condições operacionais foram extraídos dos arquivos de projeto e relatórios técnicos do Setor Operacional da Sabesp, unidade de Cardoso – RTDF.3, pertencente à Unidade de Negócio do Baixo Tietê e Grande – RT.

A caracterização física foi realizada com levantamento topográfico e cadastral da área da estação para verificação de disponibilidade de área.

Os resíduos de decantadores (LETA) e de lavagem de filtros (ALAF) foram caracterizados qualitativamente e avaliadas as condições de lançamento dos resíduos “in natura” no corpo receptor, considerando os parâmetros de sólidos e metais, e o atendimento à legislação ambiental Federal, Resolução CONAMA nº 20/1986, e Estadual, Lei 997/76 do Estado de São Paulo.

Os parâmetros iniciais para o projeto foram extraídos da avaliação das condições de drenagem do protótipo de Leito de Drenagem desenvolvido por CORDEIRO (2001).

A quantificação dos volumes, principalmente dos decantadores, foi realizada através de medição física e comparada com equações teóricas de avaliação de produção global de sólidos em ETAs.

O projeto do Leito de Drenagem foi elaborado e implantado, em escala real, onde foi analisado o desempenho quanto à redução de volume de lodo e possibilidade de reuso da água livre.

As águas de lavagem de filtros foram quantificadas para projeto, implantação e análise das condições operacionais do Sedimentador.

Os sólidos residuais do Leito de Drenagem foram analisados de acordo com a NBR 10004/1987 para Classificação de Resíduos Sólidos e verificação da melhor disposição.

Todas as análises e ensaios foram realizados pelos Laboratórios da Divisão de Controle Sanitário da Sabesp – RT e contratados.

5.2 Etapas de desenvolvimento dos trabalhos

ETAPA I – Caracterização física através de levantamento topográfico e cadastral da área da ETA para localização das estruturas a serem implantadas.

ETAPA II – caracterização físico-química dos resíduos de ALAF e LETA quanto a pH, sólidos, DQO e metais e verificação dos impactos no corpo receptor.

ETAPA III – Aplicação dos resíduos de ALAF e LETA no protótipo para determinação dos tempos de drenagem.

ETAPA IV – Quantificação dos volumes das águas de lavagem de filtros, de limpeza dos decantadores e dimensionamento do Leito de Drenagem e Sedimentador.

ETAPA V – Construção do Leito de Drenagem e Sedimentador e avaliação econômica do sistema.

ETAPA VI – Avaliação das ações operacionais envolvidas com o Leito de Drenagem e Sedimentador e análise dos resultados.

ETAPA VII – Classificação dos resíduos sólidos pela NBR 10004/87 e definição da destinação final.

5.3 Caracterização física e cadastral da área da ETA Cardoso

As características físicas da unidade foram obtidas no local através de levantamento planialtimétrico e cadastral das estruturas existentes para locação das futuras estruturas do tratamento da fase sólida da ETA.

A altimetria foi realizada com levantamento das curvas de nível de metro em metro para facilitar a locação das estruturas da fase sólida tendo como base a condição de transporte dos resíduos de decantadores e filtros por gravidade.

A FIGURA 5.1 apresenta planta da área ocupada pela ETA – Cardoso com *lay-out* das estruturas existentes e área proposta para implantação do sistema de tratamento da fase sólida.

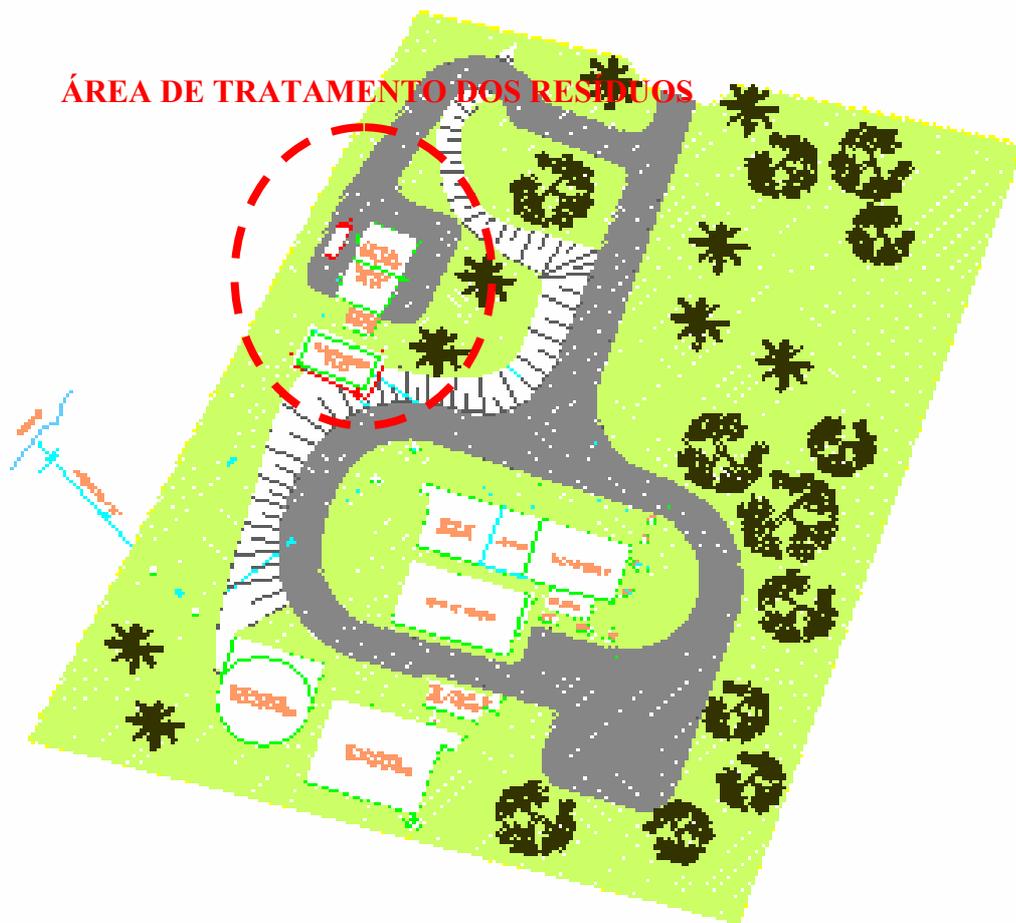


FIGURA 5.1 Área ocupada pela ETA – Cardoso com *lay-out* das estruturas e do sistema de tratamento de resíduos

5.4 Coleta, aplicação e monitoramento do protótipo com resíduos de Decantador e água de lavagem de filtros e suas caracterizações qualitativas

O protótipo consiste num recipiente de chapa galvanizada em forma de tronco de pirâmide invertido com capacidade para 240 litros (FIGURA 5.2). O leito é composto por uma camada suporte de 5cm de brita # 1 sobreposta por uma manta não tecida de poliéster ou geotextil. Para os ensaios foram utilizadas as mantas geotexteis de 600 g/m².



FIGURA 5.2 Protótipo de Leito de Drenagem desenvolvido por CORDEIRO (2001)

O protótipo foi utilizado para aplicação de resíduos dos filtros e dos decantadores em períodos proporcionados pelas características operacionais de lavagem e descarga dos efluentes da ETA.

5.4.1 Resíduos de Decantadores

Para os decantadores, pela característica operacional de descarga e lavagem, o experimento foi realizado quando da remoção do lodo do Decantador nº 2, realizada em 11/06/03. O período de acumulação do lodo naquele decantador foi de 69 (sessenta e nove) dias.

Visando amostras homogêneas de lodo, estas foram coletadas após a descarga da camada de água clarificada até atingir a interface desta com a camada de lodo depositada no fundo, conforme ilustra a FIGURA 5.3.

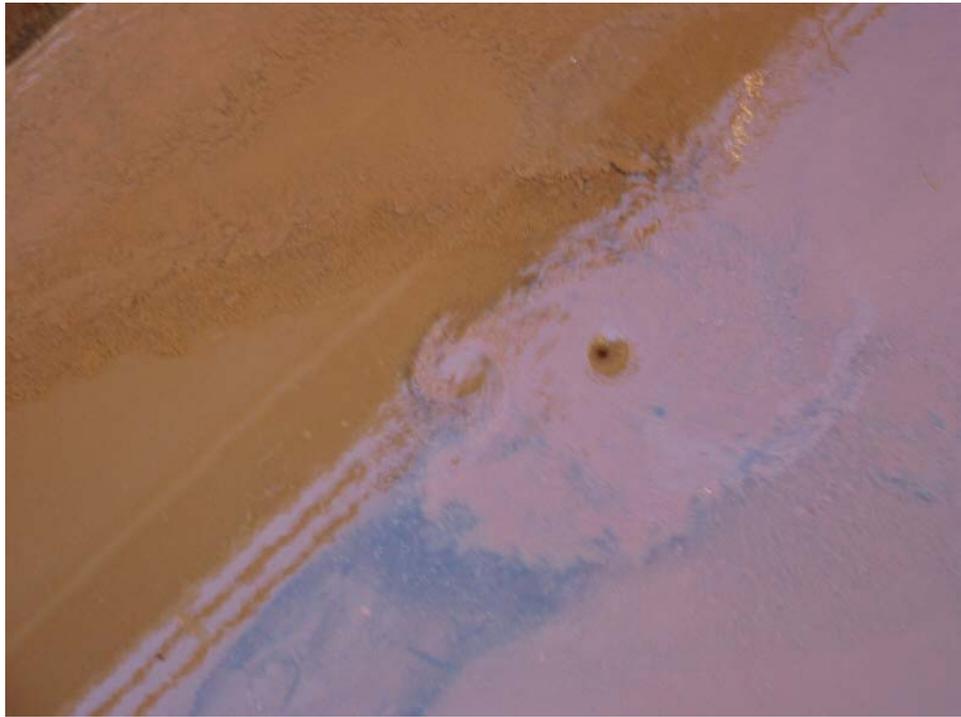


FIGURA 5.3 Interface da camada clarificada e o lodo no processo de descarga

As coletas foram realizadas manual e diretamente no fundo dos decantadores com um recipiente de 12 litros (balde). Para esta operação houve a necessidade da descida de um funcionário até o ponto de coleta através de uma escada de madeira. Os recipientes foram içados através de cordas e lançados diretamente no protótipo de Leito de Drenagem.

O volume da amostra foi de 222 litros para o experimento de verificação de tempo de drenagem da água livre e redução da massa de sólidos no protótipo. A FIGURA 5.4 mostra o protótipo carregado com lodo de decantador.

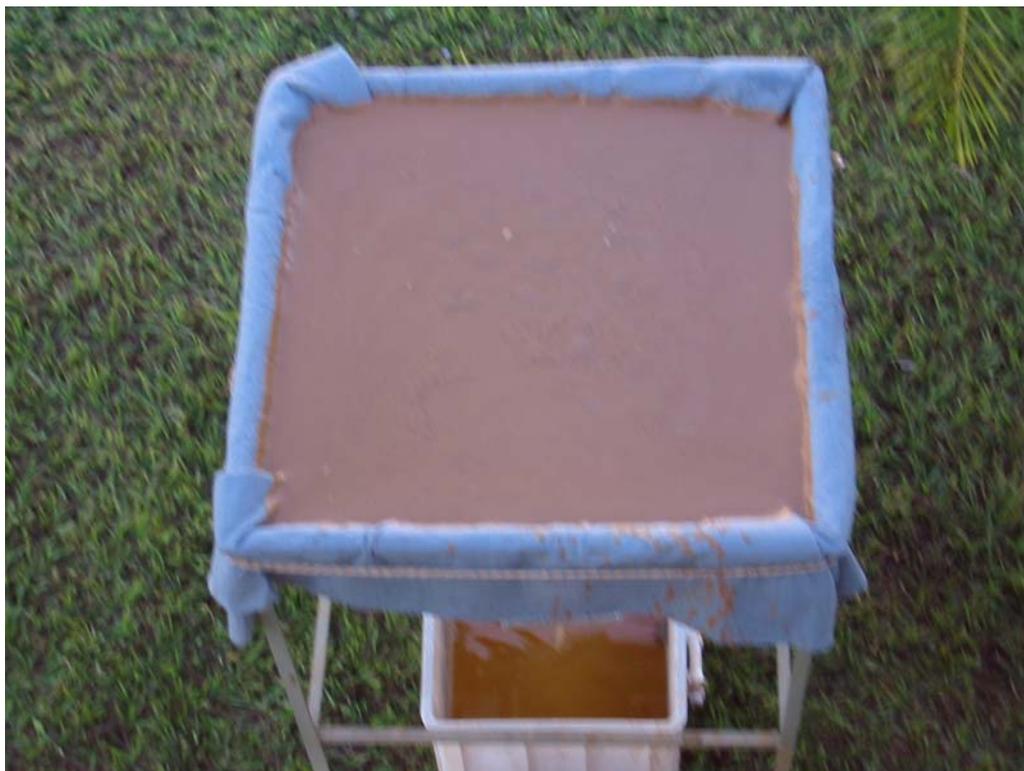


FIGURA 5.4 Protótipo carregado com lodo de decantador

Através de um contador automático o volume drenado passou a ser quantificado. As alturas do resíduo, em processo de desaguentamento, também foram monitoradas com medição através de régua pelos operadores da ETA.

5.4.2 Águas de lavagem de filtros

Foram realizados três experimentos com as águas de lavagem de filtro (ALAF) lançados no protótipo durante os procedimentos operacionais de lavagem para verificação dos tempos demandados para drenagem e qualificação do drenado.

A ALAF foi coletada na galeria de descarga dos filtros de forma composta durante os 5 minutos de duração do procedimento de lavagem de cada filtro. O volume coletado para cada ensaio foi de aproximadamente 170 litros. Inicialmente foi

lançado em uma caixa de PVC, ilustrada na FIGURA 5.5, com dimensões de 0,82 x 0,50 x 0,41m para quantificar o volume a ser lançado no protótipo. O drenado foi medido, em caixa coletora de mesma dimensão, e a cada minuto procedeu-se a medição da altura do drenado através de uma régua para cálculo do volume.



FIGURA 5.5 Coleta de água de lavagem de filtro para ensaios e análises

5.4.3 Coleta de amostras dos resíduos, dos drenados e das águas do corpo receptor

As amostras dos resíduos, efluentes drenados e águas coletadas foram acondicionadas em frascos de polietileno com 250 mL e 1000 mL de capacidade e, posteriormente, encaminhadas ao laboratório para a realização das análises físico-químicas de acordo com o método descrito pela APHA, AWWA, WEF (1998).

A FIGURA 5.6 apresenta um diagrama dos pontos de coleta das amostras para análises.

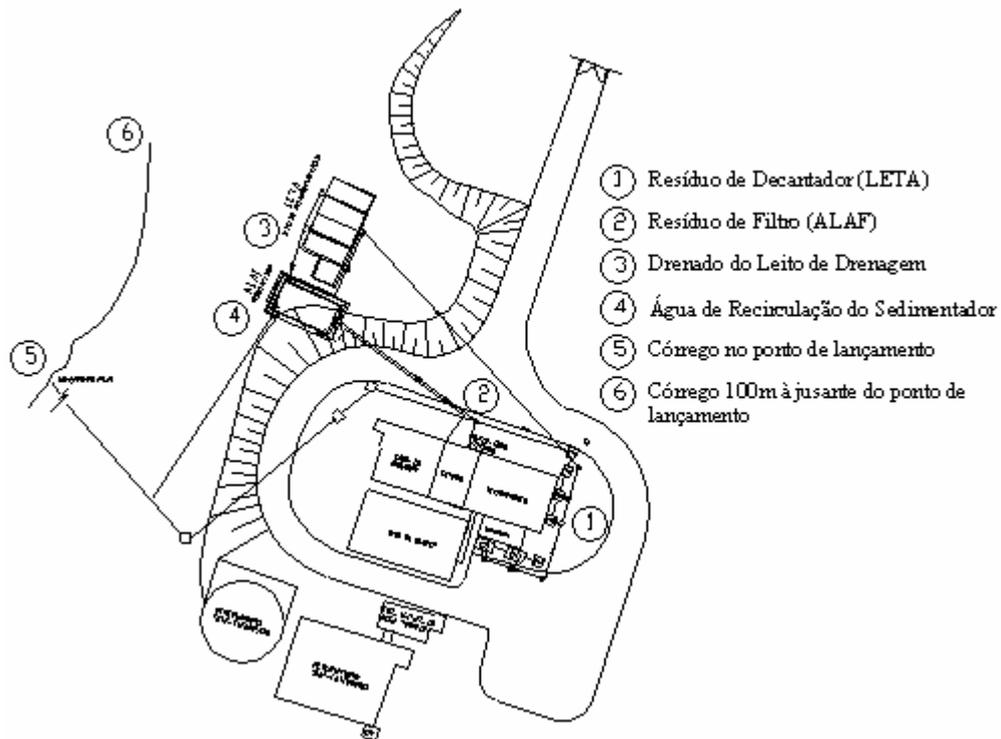


FIGURA 5.6 Diagrama dos pontos de coleta das amostras

As amostras de água coletadas no Córrego Tomazinho se deram após as descargas dos decantadores sendo realizada uma coleta no ponto de lançamento e outra a uma distância de 100 metros à jusante daquele ponto.

A amostragem teve como objetivo confrontar os resultados com os parâmetros e padrões constantes na Resolução CONAMA nº 20/86, justificando a necessidade de um manejo adequado para os resíduos da ETA.

A FIGURA 5.7 mostra a forma de coleta e a característica visual das águas do corpo receptor enquanto recebia os despejos de lavagem de decantador.



FIGURA 5.7 Coleta de água do Córrego Tomazinho junto ao ponto de lançamento e aspecto visual da água

5.5 Procedimentos e métodos para estimativa de produção dos resíduos de Decantadores e de Filtros

A produção global de resíduos de uma ETA pode ser estimada utilizando-se de método de cálculo, com alguns valores típicos apresentados em literatura, através de balanço de massas ou por medição física no decantador (CORNWELL, 1987).

Para os decantadores foram utilizados os métodos de medição física e método de cálculo por equações empíricas. Os filtros tiveram sua avaliação por medição “pitométrica”, considerando o tempo de 5 minutos para cada lavagem, recomendada para os filtros rápidos de fluxo descendente (RICHTER et al, 1995).

Os resultados destas avaliações foram os parâmetros para dimensionamento, projeto e implantação do sistema de Leito de Drenagem, para os lodos de decantadores, e do Sedimentador, para as águas de lavagem dos filtros.

5.5.1 Estimativa de volume de Lodo dos Decantadores (LETA)

A quantificação dos volumes de lodo produzidos diariamente nos decantadores da ETA Cardoso teve como base a medição física em dois períodos. Para a projeção do máximo volume, para o dimensionamento e implantação do Leito em escala real, foi verificada a relação proporcional entre as estimativas, pelo método de cálculo, referente ao mesmo período (03/04/03 a 10/06/03), e o período de máximas turbidez e vazão da ETA para os últimos anos (01/01/02 a 01/03/02).

Pela exigüidade do tempo, os trabalhos de quantificação de lodo dos decantadores, nesta etapa, foram realizados para dois períodos de acumulação do lodo, sendo: Decantador nº 1 (12/05/03 a 10/06/03) e Decantador nº 2 (03/04/03 a 10/06/03). As dosagens de sulfato de alumínio e os dados de turbidez e vazão, para os períodos estudados, foram extraídos dos Boletins Diários da ETA.

- **Medição física** - A medição física no decantador foi realizada através de um equipamento constituído de uma válvula de retenção de pé, em latão, na extremidade de um tubo de PVC transparente de diâmetro 27mm e 4,00 m de comprimento, desenvolvido para esta finalidade (FIGURA 5.8) e denominado de AMOSTRADOR.

As medições, através do amostrador, foram realizadas dividindo-se o decantador em faixas nos sentidos longitudinal (2 seções) e transversal (6 seções) e o equipamento introduzido nos pontos de intersecção das seções até o fundo do

decantador. A válvula permitia a entrada da água e do lodo, retendo seu conteúdo, apresentando uma estratificação da camada e possibilitando a medição da altura do lodo. Com as médias das alturas e conhecendo-se a área do tanque, foram estabelecidos os volumes de lodo depositados no fundo.

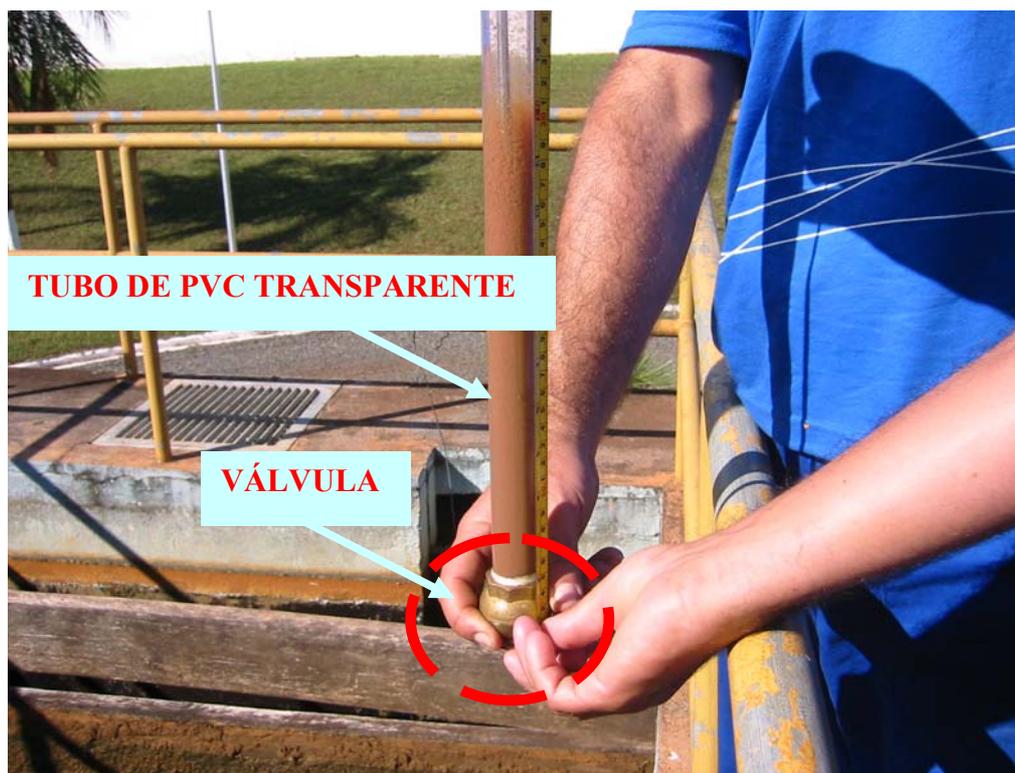


FIGURA 5.8 Equipamento “AMOSTRADOR” para medição da altura da camada de lodo no decantador

- **Método de cálculo de produção de sólidos** - A avaliação através da metodologia de cálculo considera a produção global de sólidos na ETA, base seca.

A produção global de sólidos na ETA foi realizada pela Equação 3.8 (KAWAMURA, 2000), modificada quanto a correlação linear entre turbidez e sólidos suspensos totais na água bruta:

$$T_s = D_{as} \text{ (mg/L)} \cdot 0,26 + T_{ab} \text{ (nT)} \cdot 1,5 \quad (3.8)$$

T_s = Teor de sólidos (grama de sólidos secos por m^3 de água tratada);

Das = Dosagem de Sulfato de Alumínio (mg/L);

Tab = Turbidez da água bruta (uT).

Para o caso em estudo, e manancial de boa qualidade, a correlação de concentração de sólidos suspensos totais presentes na água bruta e a turbidez foi adotado como $SS = 1 Tab$, conforme Equação (5.1).

$$T_s = Das \text{ (mg/L)} \cdot 0,26 + Tab \text{ (uT)} \quad (5.1)$$

Conforme já mencionado, a correlação linear, entre Turbidez e concentração de sólidos suspensos totais na água bruta, pode variar de 0,7 a 2,2 (CORNWELL, 1987). Em estudos mencionados anteriormente, no Brasil, esses coeficientes variam de 0,671 (BARROSO, 2002), e 0,98 (FERNANDES, 2002).

▪ **Cálculo do volume de lodo** - A quantificação dos volumes de lodo, Equação (5.2) foi obtida considerando-se a densidade úmida do lodo, apresentada por (REALI, 1999) na Equação (3.9):

$$D_L = 100 / (T_{ST} / D_{SS}) + (100 - T_{ST} / D_A) \quad (3.9)$$

D_L – Densidade úmida do lodo;

T_{ST} – Teor de sólidos totais (%);

D_{SS} – Densidade dos sólidos secos (adota-se 2500 kg/m^3 para ETAs que utilizam sais de ferro ou de alumínio como coagulante);

D_A – Densidade da água.

O volume do lodo úmido no decantador é dado por:

$$V_L = T_s / (T_{ST}/100) / D_L \quad (5.2)$$

V_L – Volume de lodo úmido, em m^3 ;

T_{ST} – Teor de sólidos suspensos totais (%).

O teor de sólidos suspensos totais foi obtido, em laboratório, de amostra coletada no período de avaliação de produção de lodo.

▪ **Projeção de máximo volume de lodo na ETA** – O volume final (V_{FINAL}) é dado pela multiplicação da Relação proporcional (R_R) pelo V_{MF} , Equação (5.4).

A relação proporcional (R_R) entre os volumes estimativos pelo método de cálculo é dado por:

$$R_R = V_{L(2)} / V_{L(1)} \quad (5.3)$$

R_R – Relação proporcional entre os volumes do período de maior produção teórica de sólidos e o período verificado;

$V_{L(1)}$ – Volume teórico produzido por dia, primeiro período, em m^3 /dia;

$V_{L(2)}$ – Volume teórico produzido por dia, segundo período, em m^3 /dia.

$$V_{FINAL} = V_{MF} \times R_R \quad (5.4)$$

5.5.2 Estimativa de volume de água de lavagem de filtros (ALAF)

O sistema de recalque para água de retrolavagem dos filtros não possui medidor de vazão e é equipado com dois conjuntos moto-bomba de vazões diferentes.

Portanto, houve a necessidade de aferição dos dois conjuntos durante o procedimento de lavagem. A aferição foi realizada através de equipamentos e métodos de “pitometria”.

Os controles operacionais da ETA foram pesquisados para determinar o volume máximo mensal para os anos de 2002 e 2003 para o dimensionamento do sistema de Sedimentação da água de lavagem de filtro e de recirculação da água clarificada.

5.6 Procedimentos para projeto e construção do sistema de tratamento dos resíduos da ETA Cardoso

A elaboração do projeto e construção do sistema de tratamento dos resíduos da ETA Cardoso obedeceu às seguintes etapas:

1. Levantamento topográfico e cadastral da área da ETA:
 - 1.1. Localização das estruturas existentes;
 - 1.2. Cotas de dispositivos de descarga dos flocculadores, decantadores e filtros;
 - 1.3. Cotas das caixas e tubulações de transporte;
 - 1.4. Cota do lançamento final dos resíduos.
2. Projeto do Leito de Drenagem e do Sedimentador:
 - 2.1. Verificação da velocidade na tubulação de transporte dos resíduos;
 - 2.2. Dimensionamento do Leito de Drenagem ;
 - 2.3. Dimensionamento do Sedimentador;
 - 2.4. Locação preliminar e sondagem;
 - 2.5. Orçamento e cronograma.
3. Implantação das tubulações e estruturas:
 - 3.1. Locação da obra;
 - 3.2. Construção do sistema.

O sistema foi construído no período de 11/08/03 a 15/09/03 tendo sido realizado o primeiro lançamento de resíduo no dia 19/09/03.

5.7 Procedimentos para operação e monitoramento do sistema de tratamento de resíduos

5.7.1 Leito de Drenagem para lodo de decantador

Em função da grande influência das condições operacionais da ETA sobre a geração dos resíduos, a operação do Leito de Drenagem teve como base a proposta de descarga e lavagem de decantadores em períodos não superiores a 60 (sessenta dias). Assim, os dois decantadores passaram a ser descarregados e lavados, alternadamente, o que faz com que o período de utilização do leito não ultrapasse 30 dias.

O período de utilização do leito corresponde às operações de lançamento do lodo, monitoramento do desaguamento e retirada dos sólidos desaguados.

Uma condição de fundamental importância é o lançamento da água clarificada do decantador diretamente para os filtros antes da descarga do lodo. Esta operação reduz sensivelmente a quantidade de lodo em volume aumentando a concentração de sólidos resultando numa condição muito favorável para a utilização do Leito de Drenagem.

O sistema de lançamento da água clarificada do decantador é constituído de um conjunto moto-bomba submersível, motor com potência de 4,6 HP, tensão 220V trifásica, vazão 100 m³/hora e altura manométrica 5 m.c.a.

Os experimentos foram realizados de setembro/2003 a janeiro/2004 que correspondem a quatro operações de descarregamento e limpeza dos decantadores.

As operações para utilização do leito foram basicamente as seguintes: após o bombeamento da água clarificada do decantador para os filtros, a camada de lodo

remanescente foi descarregada no leito, fazendo-se a medida da altura da camada lançada no Leito de Drenagem após o término do lançamento. A medição foi realizada diariamente até a retirada dos sólidos desaguados para verificação da redução de volume. Amostras do lodo e do drenado, bem como dos sólidos finais, foram coletadas para análises físico-químicas em laboratório. Durante o período de drenagem e secagem diversas amostras foram extraídas para verificação do teor de sólidos contidos na massa.

Para comparar o desempenho do leito na redução do volume de lodo foi utilizada a seguinte equação:

$$H_{(\%)} = \left\{ \frac{H_f}{H_i + p - e} \right\} \cdot 100 \quad (5.5)$$

$H_{(\%)}$: Altura da massa de sólidos desaguados no leito em relação à soma das alturas do lodo aplicado somado à contribuição pluvial, em porcentagem;

H_f - Altura final da massa de sólidos desaguados no leito, em centímetro;

H_i - Altura inicial da lâmina de lodo medida no lançamento, em centímetro;

p - Altura acumulada relativa à precipitação pluvial no período de desaguamento, em centímetro;

e - Altura acumulada relativa à evaporação no período de desaguamento, em centímetro.

Outro equacionamento fundamental é o tempo operacional disponível para colocação do leito em funcionamento, dado por:

$$\Delta T = T_a - (T_d + \Delta t_c) \quad (5.6)$$

ΔT - tempo operacional disponível para colocação do leito em funcionamento, em dias;

T_a - período de tempo entre as descargas e lavagem do decantador, em dias;

T_d - período de tempo para drenagem da água livre, em dias;

Δt_c – período de tempo correspondente à drenagem de água devida à precipitação pluvial e à evaporação, em dias.

Nas estações mais quentes, portanto mais sujeitas às condições de intensas chuvas e de altos índices de evaporação, a parcela (Δt_c) pode ser assim expressa:

$$\Delta t_c = t_p - t_e \quad (5.7)$$

t_p – tempo da drenagem da água proveniente da precipitação pluvial acumulada no período de desaguamento, em dias;

t_e – tempo relativo à evaporação acumulada no período de desaguamento, em dias.

Substituindo-se a equação (5.7) em (5.6) tem-se:

$$\Delta T = T_a - (T_d + \Delta t_c) \quad (5.8)$$

Os fatores externos intervenientes como (precipitações pluviais, evaporação, temperatura e umidade relativa do ar) foram obtidos dos dados do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas – CIIAGRO do Instituto Agrônomo de Campinas – IAC e da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral – CATI da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, sede Cardoso/SP.

5.7.2 Classificação dos sólidos residuais do Leito de Drenagem pela NBR 10004 (ABNT)

Os sólidos residuais do Leito de Drenagem foram classificados de acordo com a NBR 10004/87 da ABNT - Classificação de Resíduos Sólidos sendo realizados

os ensaios de Lixiviação (NBR 10005/87), solubilização (NBR 10006/87) e líquidos livres (NBR 12988/87).

A amostra foi coletada e enviada a um laboratório credenciado e contratado para realização dos ensaios e classificação dos resíduos sólidos.

5.7.3 Sedimentador para águas de lavagem de filtros

Diversas são as experiências com recuperação de águas de lavagem de filtros por ser um resíduo com baixo teor de sólidos em suspensão, normalmente variando de 0,05 a 0,5%, e grandes volumes que variam de 1 a 5% em relação ao volume da água tratada. A recuperação desses volumes se torna bastante importante, não só do ponto de vista de impacto ambiental, com redução de descargas diretamente nos corpos d'água, mas também no aspecto econômico que pode levar a redução de custo de energia para recalque de água bruta.

Considerando esses aspectos, as águas de lavagem de filtros da ETA Cardoso estão sendo encaminhadas para um sedimentador onde ocorre a sua clarificação. A água clarificada é recirculada para o início da ETA no ponto de coagulação da água bruta. A quantidade recirculada é equivalente a no máximo 10% da vazão da ETA (KAWAMURA, 2000 e SOUZA FILHO, 1998). Os sólidos retidos no sedimentador são encaminhados para o Leito de Drenagem juntamente com os lodos dos decantadores nos períodos de descarga e limpeza, podendo abranger um período de acumulação de 30 a 60 dias.

O equacionamento para recirculação considerou o tempo de sedimentação dos sólidos de duas horas em relação ao funcionamento diário da ETA.

Este tempo, segundo OLIVEIRA et all (2002), é suficiente para sedimentar valores acima de 95% dos sólidos suspensos totais presentes na ALAF.

Para o dimensionamento do sedimentador buscou-se historicamente o mês com o máximo volume de ALAF. As equações a seguir proporcionam o dimensionamento:

$$V_S = V_M / N_m \quad (5.9)$$

V_S : Volume do sedimentador;

V_M : Volume máximo de ALAF, em m³/mês;

N_m : Número de dias do mês de maior consumo de ALAF.

O volume de recirculação obedeceu a seguinte equação:

$$v_r = V_S / (T_F - n) \quad (5.10)$$

v_r : Volume de recirculação, m³/h;

T_F : Funcionamento médio da ETA, horas/dia;

n : tempo necessário para sedimentar 95% dos sólidos (adotado 2 horas).

Para obedecer a condição de no máximo 10% de volume de recirculação em relação à vazão média da ETA, tem-se a seguinte verificação:

$$v_r < V_R$$

onde;

$$V_R = 0,1 \cdot Q_E \quad (5.11)$$

V_R : Vazão máxima de recirculação;

Q_E : Vazão média da ETA, em m³/hora.

5.8 Procedimentos para análise econômica do sistema de tratamento dos resíduos da ETA Cardoso

A análise econômica do sistema se deu para um período de alcance de projeto de 10 anos.

A ETA Cardoso produz água para abastecimento de cerca de 47% da população urbana da comunidade. A população projetada para 2003 é de 10470, portanto o abastecimento da ETA corresponde a 4920 habitantes. A projeção foi calculada pelo método logístico baseado em dados históricos do IBGE (2000).

- Valor econômico para amortização, por habitante por ano:

$$V_{\text{hab}} = VI / P \quad (5.12)$$

V_{hab} : Valor do investimento por habitante por ano;

VI : Valor inicial do investimento;

P : População projetada para 2003;

- Valor econômico para amortização, por volume unitário produzido por ano:

$$V_{\text{m}^3} = VI / VP \quad (5.13)$$

V_{m^3} : Valor do investimento por metro cúbico produzido por mês;

VP : Volume produzido por ano.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Resultados das análises físico-químicas dos resíduos da ETA Cardoso e avaliação dos impactos no corpo receptor.

6.1.1 Resultado de análise físico-química de lodo de Decantador

Os resultados de análise realizada para amostra de lodo do Decantador em operação de descarga e lavagem encontram-se apresentados na TABELA 6.1. Foram também comparados com as características dos lodos da ETA Rio Claro, estudada por CORDEIRO (2001) e da ETA São Carlos, estudada por BARROSO (2002) e parâmetros e valores limites para lançamento de efluentes requeridos pelo artigo 21º da Resolução CONAMA nº 20/86.

TABELA 6.1 Características dos lodos de decantadores das ETA Cardoso; ETA Rio Claro e ETA São Carlos

Parâmetros	CONAMA Nº 20 Artigo 21º	ETA CARDOSO 06/2003	ETA RIO CLARO ^(a)	ETA SÃO CARLOS ^(b)
pH	5,0 a 9,0	6,3	7,35	6,8
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	1,0	-	-	-
Sólidos Totais (mg/L)	-	22200	15330	-
DQO (mg/L)	-	7500	5450	-
Alumínio (mg/L)	-	1700	30	553
Cádmio (mg/L)	0,2	0,12	0,27	ND
Chumbo (mg/L)	0,5	2,66	1,06	10
Cobre (mg/L)	1,0	1,39	0,91	32
Cromo ^{III} (mg/L)	2,0	2,7	0,86	19
Ferro solúvel (mg/L)	15,0	3014 ⁽¹⁾	4200 ⁽¹⁾	69999 ⁽¹⁾
Manganês solúvel (mg/L)	1,0	101 ⁽²⁾	30 ⁽²⁾	-
Mercúrio (mg/L)	0,01	0,1	-	-
Zinco (mg/L)	5,0	3,18	48,53	49
Sulfatos (mg/L SO ₄)	-	1010	-	-
Fosfato total (mg/L)	-	33,72	-	-

^(a) CORDEIRO (2000); ^(b) BARROSO (2002)

(-) Não determinado; ND: Não Detectado;

⁽¹⁾ Ferro total; ⁽²⁾ Manganês total.

Os resultados apresentados na TABELA 6.1 demonstram a incompatibilidade de vários parâmetros e valores analisados com aqueles estabelecidos e recomendados pela legislação.

A verificação dos possíveis impactos no corpo receptor dos resíduos de decantador foi realizada no dia 11/06/03, data em que foram coletadas amostras do lodo e amostras em dois pontos do Córrego Tomazinho, sendo um no ponto de lançamento e outro a 100m à jusante deste ponto. Os resultados das análises das águas do corpo receptor encontram-se na TABELA 6.2, sendo comparados com parâmetros e limites requeridos para enquadramento de corpo receptor na CLASSE 2, conforme artigo 5º da Resolução CONAMA nº 20/86.

TABELA 6.2 Qualidade das águas do Córrego Tomazinho após o lançamento do lodo de decantador da ETA – Cardoso

Parâmetros	CONAMA Nº 20 Classe 2	Ponto de lançamento	Ponto – 100m à jusante
Turbidez (uT)	<100	946	234
pH	6,00 a 9,00	7,0	7,1
Sólidos totais (mg/L)	-	292	140
DBO (mg/L)	≤ 5	-	-
DQO (mg/L)	-	108	11
Alumínio (mg/L)	0,1	300	13
Cádmio (mg/L)	0,001	0,0022	0,001
Chumbo (mg/L)	0,03	0,052	0,018
Cobre (mg/L)	0,02	0,019	0,006
Cromo total (mg/L)	0,5	0,05	0,024
Ferro solúvel (mg/L)	0,3	69 ⁽¹⁾	18,92 ⁽¹⁾
Manganês (mg/L)	0,1	1,8	0,71
Mercúrio (mg/L)	0,0002	0,001	0,001
Zinco (mg/L)	0,18	0,054	0,038
Sulfatos (mg/L SO ₄)	250	280	<5
Fosfato total (mg/L)	0,025	1,01	0,25

(-) Não determinado; ND: Não Detectado

⁽¹⁾ Ferro total.

Observa-se na TABELA 6.2 que os valores dos parâmetros turbidez, sulfatos, fosfatos e dos metais alumínio, cádmio, chumbo, manganês e mercúrio transgridem aqueles requeridos pela Resolução CONAMA nº 20/86, para águas

superficiais de CLASSE 2, no ponto de mistura junto ao lançamento. À 100m à jusante do ponto de lançamento, os parâmetros: turbidez, alumínio, manganês, mercúrio e fosfato, também se apresentam em desacordo com a legislação.

6.1.2 Resultado das análises físico-químicas das Águas de lavagem de filtros

A análise foi realizada para amostra composta coletada na operação de lavagem de filtro e seus resultados são apresentados na TABELA 6.3. Os parâmetros e valores foram confrontados com os parâmetros e valores limites para lançamento requeridos pelo artigo 21º da Resolução CONAMA nº 20/86.

TABELA 6.3 Características da ALAF da ETA Cardoso e ETA São Carlos

Parâmetros	CONAMA Nº 20 Artigo 21º	ETA CARDOSO 06/2003
Cor (uC)	-	< 75
Turbidez (uT)	-	849
Ph	6,0 a 9,0	6,9
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	1,0	-
Sólidos totais (mg/L)	-	1220
DQO (mg/L)	-	55
Alumínio (mg/L)	-	700
Cádmio (mg/L)	0,2	0,0021
Chumbo (mg/L)	0,5	0,032
Cobre (mg/L)	1,0	0,013
Cromo total (mg/L)	2,0	0,015
Ferro solúvel (mg/L)	15,0	65,8 ⁽¹⁾
Manganês solúvel (mg/L)	1,0	1,8 ⁽²⁾
Mercúrio (mg/L)	0,01	< 0,001
Zinco (mg/L)	5,0	0,12
Fosfato total (mg/L)	-	3,59
Sulfatos (mg/L SO ₄)	-	220

^(a) BARROSO (2002)

(-) Não determinado; ND: Não Detectado;

⁽¹⁾ Ferro total; ⁽²⁾ Manganês total.

Os resultados dos parâmetros apresentados na TABELA 6.3 para os casos estudados, não apresentam incompatibilidade com os valores limites para lançamento em corpos d'água conforme artigo 21º da Resolução CONAMA nº 20/86.

Porém, estudos mais aprofundados devem ser realizados, especialmente quanto aos sólidos sedimentáveis, ferro solúvel e manganês solúvel para garantia da compatibilidade com a legislação.

6.2 Monitoramento do protótipo com resíduos da ETA Cardoso

6.2.1 Resultados da aplicação do lodo de decantador no protótipo de Leito de Drenagem

As verificações da variação do volume drenado e da altura da massa residual no protótipo tiveram como base a amostra extraída da descarga e limpeza do lodo do Decantador nº 2, realizada em 11/06/03. Os dados foram coletados em vários períodos do dia e constam na TABELA 6.4. Esses dados estão representados graficamente na FIGURA 6.1, com variação ao longo do tempo.

TABELA 6.4 Variação da altura da massa de sólidos e do volume drenado no protótipo de Leito de Drenagem

Tempo (h)	V _{DRENADO} (L)	V _{DRENADO} (%)	Altura (cm)	Altura (%)
0	0		41	
0,3	13	5,7	40	2,44
0,6	18	8,18	39	4,88
17	96	12,39	30	26,83
25	111	43,36	27	34,15
71	145	49,8	18	56,1
89	152	65,41	15,5	62,2
93	153	68,25	15	63,41
120	153	68,92	13,5	67,07
216	153	68,92	10	75,61

Os resultados mostram que o tempo para cessar totalmente a drenagem da água livre foi de 93 horas, praticamente 4 dias e a redução da altura da camada

lançada foi de 75,61% em apenas 9 dias. Esses resultados demonstram grande capacidade de drenagem do leito para as características do lodo da ETA Cardoso com alta redução do volume em ciclo de utilização relativamente pequeno.

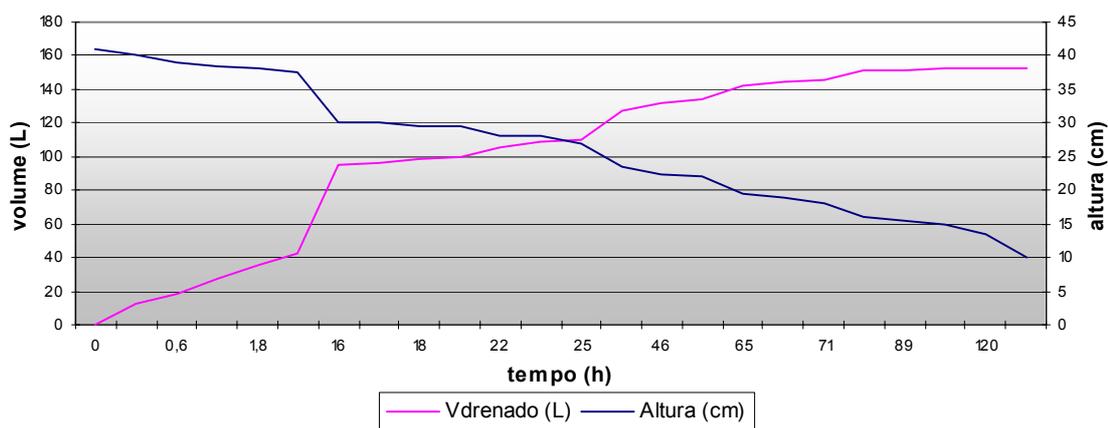


FIGURA 6.1 Variação da altura da massa de sólidos e do volume drenado, com variação ao longo do tempo, no protótipo do Leito de Drenagem

Os resultados das análises realizadas para o drenado do lodo aplicado no Protótipo estão apresentados na TABELA 6.5 e foram comparados com os parâmetros e valores limites requeridos pelo artigo 21º da Resolução CONAMA nº 20/86, para lançamento, e pelo artigo 5º, para enquadramento de corpo d'água receptor na Classe 2.

Conforme se observa na TABELA 6.5, para o lançamento do drenado diretamente no corpo d'água em atendimento ao artigo 21º (CONAMA nº 20/86), recomenda-se que estudos mais aprofundados devem ser realizados, especialmente quanto ao parâmetro ferro solúvel para garantia da compatibilidade com a legislação e adequação quanto a sua destinação.

TABELA 6.5 Características do drenado resultante da aplicação do lodo de decantador da ETA Cardoso no protótipo de Leito de Drenagem

Parâmetros	CONAMA N° 20 Classe 2	CONAMA N° 20 Artigo 21°	Drenado do Protótipo
Cor (uC)	≤ 75	-	<75
Turbidez (uT)	<100	-	1,2
pH	6,0 a 9,0	5,0 a 9,0	6,7
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	-	1,0	-
Sólidos totais (mg/L)	-	-	176
DBO (mg/L)	≤ 5	-	-
DQO (mg/L)	-	-	26
Alumínio (mg/L)	0,1	-	0,13
Cádmio (mg/L)	0,001	0,2	0,0081
Chumbo (mg/L)	0,03	0,5	0,021
Cobre (mg/L)	0,02	1,0	0,008
Cromo ^{III} (mg/L)	0,5	2,0	0,005
Ferro solúvel (mg/L)	0,3	15	0,77 ⁽¹⁾
Manganês solúvel (mg/L)	-	1,0	-
Manganês total (mg/L)	0,1	-	23,7
Mercurio (mg/L)	0,0002	0,01	< 0,001
Zinco (mg/L)	0,18	5,0	0,99
Sulfatos (mg/L SO ₄)	250	-	27
Fosfato total (mg/L)	0,025	-	0,09

(-) Não determinado.

⁽¹⁾ Ferro total.

Quanto ao atendimento aos requisitos do artigo 5° (CONAMA n° 20/86), os valores dos parâmetros alumínio, cádmio, mercúrio, zinco e fosfato total transgridem aqueles estabelecidos pela legislação.

Portanto, para o caso da ETA Cardoso o drenado será encaminhado para o Sedimentador e recirculado para o início do tratamento juntamente com as águas de lavagem de filtros clarificadas.

A FIGURA 6.2 mostra o aspecto do lodo aplicado no protótipo de Leito de Drenagem após drenagem da água livre e exposição da massa de sólidos.

Observa-se que a massa, após a drenagem da água livre, passa a apresentar retrações aumentando as áreas expostas facilitando o processo de evaporação. Em casos de precipitações pluviométricas as rachaduras apresentadas contribuem para a livre drenagem da água.



FIGURA 6.2 Aspecto do lodo aplicado no protótipo de Leito de Drenagem após drenagem da água livre

6.2.2 Resultados da aplicação da água de lavagem de filtros no protótipo de Leito de Drenagem

A condição de drenagem das águas de lavagem dos filtros, quando lançadas no Protótipo, está apresentada na FIGURA 6.3 correlacionando a os percentuais de volumes drenados ao longo do tempo para os filtros (1); (2) e (3).

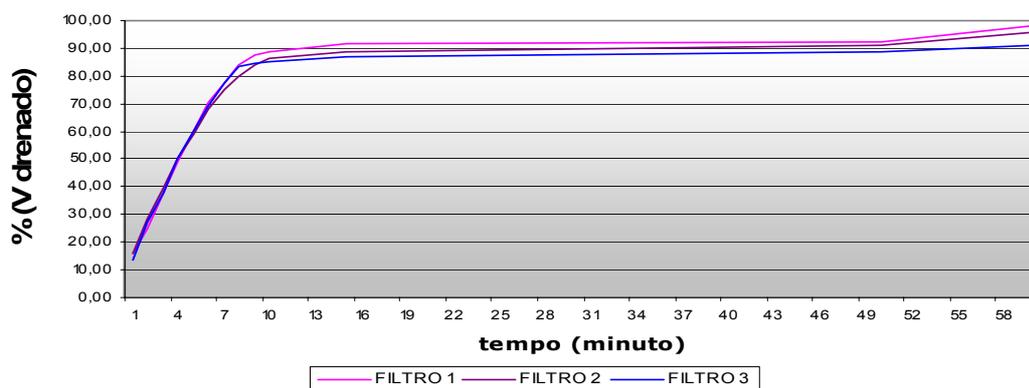


FIGURA 6.3 Correlação entre os volumes e tempos para drenagem da ALAF no protótipo de Leito de Drenagem

Conforme se observa na FIGURA 6.3 nos primeiros 10 minutos ocorre a drenagem de mais de 80% da água livre. Com cerca de 60 minutos praticamente drenou toda a água livre contida no resíduo lançado no Protótipo.

Na TABELA 6.6 estão apresentados os resultados de análises da ALAF e do drenado, comparados com os parâmetros e valores limites de lançamento de efluentes, conforme artigo nº 21 da Resolução CONAMA nº 20/86, e de enquadramento do corpo d'água receptor na Classe 2, conforme artigo 5º da Resolução CONAMA nº 20/86.

Observa-se que os valores dos parâmetros turbidez, fósforo total e dos metais alumínio, cádmio e manganês total, transgridem os valores estabelecidos no artigo 5º da Resolução CONAMA nº 20/86, tanto para as águas de lavagem de filtros (ALAF) como para o drenado. Em relação ao artigo 21º da Resolução CONAMA nº 20/86, o valor do parâmetro cádmio é transgredido para a ALAF.

Verificando os valores dos parâmetros da ALAF em relação ao drenado nota-se pequenas reduções para a turbidez e para o metal alumínio. Assim, optou-se

pela utilização de Sedimentador para a recuperação das águas de lavagem de filtros (ALAF) descartando-se a possibilidade de utilização do Leito de Drenagem.

TABELA 6.6 Características da ALAF da ETA Cardoso e do drenado resultante da aplicação no Protótipo de Leito de Drenagem

Parâmetros	CONAMA N° 20 Classe 2	CONAMA N° 20 Artigo 21°	ALAF 06/2003	Drenado do Protótipo
Cor (uC)	≤ 75	-	<70	<70
Turbidez (uT)	<100	-	849	646
pH	6,0 a 9,0	5,0 a 9,0	6,9	7,0
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	-	1,0	-	-
Sólidos Totais (mg/L)	-	-	1220	176
DQO (mg/L)	-	-	55	26
Alumínio (mg/L)	0,1	-	700	500
Cádmio (mg/L)	0,001	0,2	0,0021	0,0015
Chumbo (mg/L)	0,03	0,5	0,032	0,025
Cobre (mg/L)	0,02	1,0	0,013	0,01
Cromo ^{III} (mg/L)	0,5	2,0	0,015	0,051
Ferro solúvel (mg/L)	0,3	15	65,8 ⁽¹⁾	48,01 ⁽¹⁾
Manganês solúvel (mg/L)	-	1,0	-	-
Manganês total (mg/L)	0,1	-	1,8	1,2
Merúrio (mg/L)	0,0002	0,01	<0,001	<0,001
Zinco (mg/L)	0,18	5,0	0,12	0,035
Fosfato total (mg/L)	0,025	-	3,59	2,33
Sulfatos (mg/L SO ₄)	250	-	220	11,6

(-) Não determinado.

⁽¹⁾ Ferro total

6.3 Projeto e construção do sistema de tratamento de resíduos da ETA Cardoso

6.3.1 Dimensionamento e projeto do Leito de Drenagem

6.3.1.1 Resultados da quantificação de lodo dos decantadores para projeto do leito

A relação proporcional para a projeção de máximo volume diário para o dimensionamento e implantação do Leito de Drenagem tem como base a avaliação dos volumes pelo método de cálculo para o período de 03/04/03 a 10/06/03 relacionada com

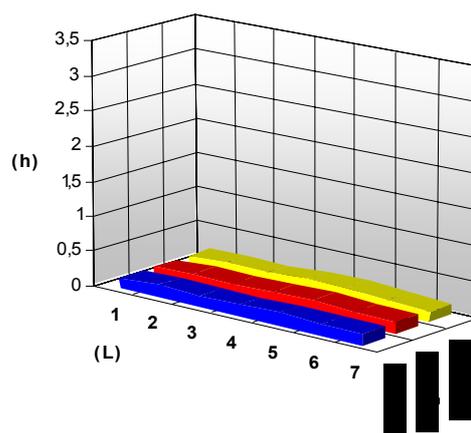
o período de 01/01/02 a 01/03/02. Esta relação foi aplicada ao volume resultante da medição física para projeção do máximo volume produzido diariamente.

▪ Método de medição física

Os resultados dos volumes de lodo estimativos pelo método de medição física estão apresentados na TABELA 6.7. O período de acumulação do Decantador 1 foi de 30 dias (12/05/03 a 10/06/03) e do Decantador 2 de 69 dias (03/04/03 a 10/06/03) cujos volumes totais estão representados graficamente nas FIGURAS 6.4 e 6.5.

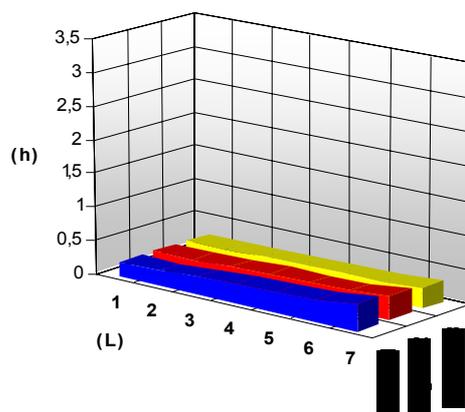
TABELA 6.7 Volumes de lodo medidos fisicamente para os Decantadores 1 e 2

DECANTADOR N° 1 12/05/03 a 10/06/03			DECANTADOR N° 2 03/04/03 a 10/06/03			Produção total (m ³ /dia)
Área (m ²)	Altura (m)	Produção (m ³ /dia)	Área (m ²)	Altura (m)	Produção (m ³ /dia)	
33,2	0,181	0,2	33,2	0,272	0,131	0,331



	1	2	3	4	5	6	7
■ seção 1	0,15	0,18	0,15	0,16	0,18	0,16	0,15
■ seção 2	0,155	0,185	0,16	0,185	0,195	0,17	0,15
■ seção 3	0,16	0,19	0,17	0,21	0,21	0,18	0,15

FIGURA 6.4 Representação gráfica da camada de lodo no Decantador 1 – período de acumulação 12/05/03 a 10/06/03



	1	2	3	4	5	6	7
■ seção 1	0,22	0,22	0,26	0,28	0,3	0,32	0,4
■ seção 2	0,22	0,22	0,25	0,27	0,28	0,29	0,35
■ seção 3	0,22	0,22	0,24	0,26	0,26	0,26	0,3

FIGURA 6.5 Representação gráfica da camada de lodo no Decantador 2 – período de acumulação 03/04/03 a 10/06/03

▪ **Método de cálculo para estimativa de máximo volume de lodo**

A estimativa de máximo volume de lodo foi realizada através da relação entre o estudo de dois períodos projetando-se, com esta relação, o valor encontrado na medição física.

- **Período (1)** 69 dias, abrange a acumulação dos dois decantadores de 03/04/03 a 10/06/03;

Dados relativos ao **Período (1)**;

Produção média de água na ETA – 700,4 m³/dia;

Turbidez média no período – 29,0 (uT);

Dosagem de Sulfato de Alumínio – 18,2 mg/L.

- **Período (2)** 60 dias, corresponde a máxima turbidez e vazão da ETA que abrange o período de 01/01/02 a 01/03/02.

Dados relativos ao **Período (2)**;

Produção média de água na ETA – 883,1 m³/dia;

Turbidez média no período – 73,79 (uT);

Dosagem de Sulfato de Alumínio – 29,44 mg/L.

T_{ST} : Teor de sólidos suspensos totais utilizado nos cálculos – 2,2% (dato extraído de análise realizada em amostra de lodo em 12/05/03).

Os dados apresentados na TABELA 6.8 foram calculados utilizando as Equações 3.8; 3.9; 5.1; 5.2; 5.3 e 5.4.

TABELA 6.8 Volume máximo estimativo de lodo para projeto e dimensionamento do Leito de Drenagem

PERÍODO (1)	PERÍODO (2)	Relação de projeção	Volume Medição Física	Máximo Volume Projetado
Volume (m ³ /dia)	Volume (m ³ /dia)	(R)	m ³ /dia	m ³ /dia
1,06	3,22	3,04	0,331	1,00

6.3.1.2 Dimensões do Leito de Drenagem

Pela condição de utilização do Leito de Drenagem a cada 30 dias e limpeza dos decantadores alternadas e defasadas de 30 dias, entre eles, e altura do leito foi estabelecida em 50 cm, conforme recomendação de CORDEIRO (2001).

Área útil:

$$A_L = 1,00 \cdot 30 / 0,50 = 60,00 \text{ m}^2$$

Ao considerar as condições sazonais de produção de lodo pela variação dos valores de turbidez e dosagem de sulfato de alumínio, o leito foi dividido em dois

módulos. Esta divisão proporciona que, em certos períodos do ano, apenas um dos módulos seja utilizado facilitando as suas condições operacionais.

Portanto, a área de cada módulo será de 30,00 m² com as seguintes dimensões:

- Largura = 5,00 m
- Comprimento = 6,00m

6.3.1.3 Construção do Leito de Drenagem

A implantação do Leito de Drenagem foi executada após levantamento topográfico da área da ETA e verificação das condições de transporte do lodo e disponibilidade de energia elétrica.

As tubulações possuem declividade de 0,007m/m constituídas em tubos de PVC DEFOFO, diâmetro 200mm para o lodo, e 150mm para o drenado.

O leito foi executado em alvenaria de tijolo comum e laje em concreto de 10cm de espessura estruturada com malha de aço CA-60 de 15x15cm e diâmetro do ferro de 4,5mm. A laje possui inclinação em direção às canaletas de coleta do drenado de 1%.

A distribuição do lodo nos dois módulos é feita por meio de uma caixa construída em alvenaria com sistema de direcionamento para os dois módulos, sendo duas entradas em cada módulo. As entradas do lodo em cada módulo foram estudadas da seguinte forma:

- Lançamento direto sem distribuição do fluxo;
- Lançamento com distribuição do fluxo através de dois tubos perfurados em PVC, diâmetro 150mm, ao longo do módulo.

Analisando as duas condições, concluiu-se que o lançamento pode ser diretamente sem a preocupação de distribuição do fluxo ao longo do módulo.

As FIGURAS 6.6 e 6.7 ilustram a planta e corte das estruturas do Leito de Drenagem.

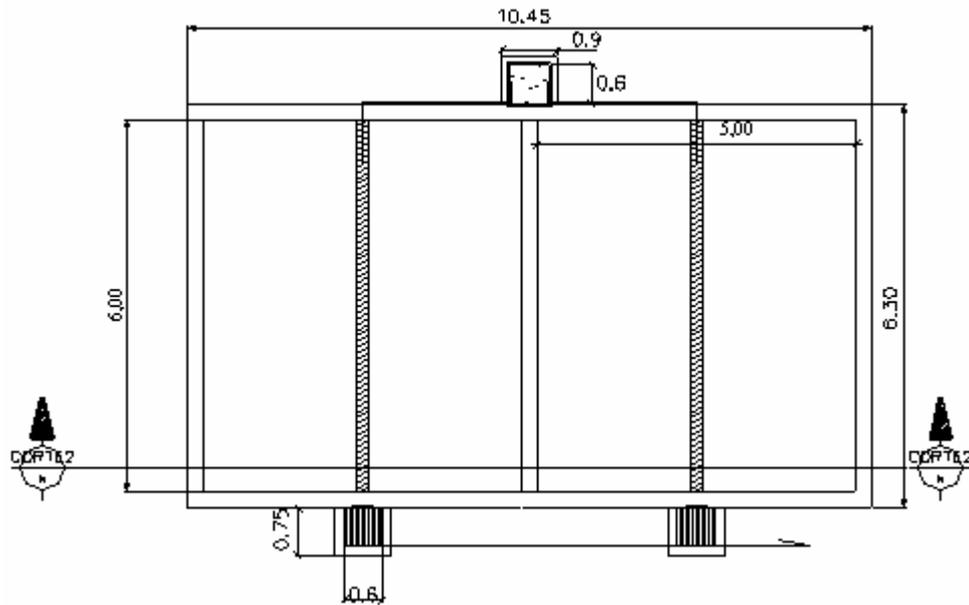


FIGURA 6.6 Planta dos módulos do Leito de Drenagem

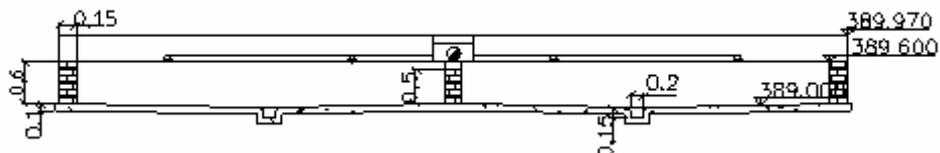


FIGURA 6.7 Estrutura em corte dos módulos do Leito de Drenagem

As mantas geotexteis utilizadas no leito são as de referência comercial MT 600 produzida comercialmente pela MACCAFERRI com largura de 2,15m. A TABELA 6.9 apresenta as características das mantas de drenagem. Em razão da vida útil, recomenda-se que sejam utilizadas as mantas de maior densidade superficial.

6.3.1.3.1 Custo de Implantação do Leito de Drenagem

Os custos apropriados para implantação do Leito de Drenagem estão resumidos na TABELA 6.10.

O custo referente ao conjunto de bombeamento da água clarificada dos Decantadores não está incluído no custo total da obra.

TABELA 6.10 Custo de implantação do Leito de Drenagem na ETA Cardoso

Item	Serviços	<i>Mês de referência: AGOSTO/2003</i>	
		Custo de implantação (R\$)	
1.	Serviços topográficos		1.300,00
2.	Estruturas, alvenarias, assentamentos e revestimentos		6.100,00
3.	Sistema viário		3.200,00
4.	Fornecimentos de tubos, conexões e acessórios		4.500,00
5.	Fornecimento de mantas geotexteis		1.300,00
		TOTAL	16.400,00

6.3.2. Dimensionamento do Sedimentador

6.3.2.1 Vazões de água de lavagem de filtro

A TABELA 6.11 apresenta os dados de vazão de água para lavagem de filtros para os anos de 2002 e 2003 e identificação da máxima vazão diária para o dimensionamento do Sedimentador. A máxima vazão diária encontrada, no período analisado, foi no mês de outubro de 2002 com volume de 34,19 m³/dia, conforme levantamento constante na TABELA 6.11.

TABELA 6.11 Vazões mensais de ALAF para os anos de 2002 e 2003

Ano	2002			2003		
	Nº lavagem	Volume (m3)	Vazão (m3/dia)	Nº lavagem	Volume (m3)	Vazão (m3/dia)
Jan	15	450	14,52	16	450	14,52
Fev	10	300	10,71	11	330	11,79
Mar	24	700	22,58	12	360	11,61
Abr	13	390	13,00	12	360	12,00
Mai	14	420	13,55	11	330	10,65
Jun	13	360	12,00	10	300	10,00
Jul	13	390	12,58	13	390	12,58
Ago	15	450	14,52	13	390	12,58
Set	16	480	16,00	16	510	17,00
Out	36	1060	34,19	15	450	14,52
Nov	17	510	17,00	14	420	14,00
Dez	16	450	14,52	13	390	12,58

6.3.2.2 Construção do Sedimentador

O Sedimentador para as águas de lavagem de filtros é constituído de um tanque em fibra de vidro (casco de piscina) nas dimensões de 8,00m de comprimento, 4,00m de largura e 1,30m de profundidade.

O posicionamento do Sedimentador proporciona a coleta do drenado do Leito de Drenagem para recirculação juntamente com a água de filtro clarificada.

O sistema de recirculação é constituído de um conjunto moto-bomba de cavidade progressiva de duplo estágio, motor com potência de 2,2 KW, tensão 220V trifásica, vazão 10 m³/hora e altura manométrica 10 m.c.a. (FIGURA 6.9).

Os sólidos sedimentados são encaminhados para o Leito de Drenagem, nas ocasiões de descarga dos Decantadores, através de conjunto moto-bomba submersível, potência 1,0 CV, tensão 220V trifásica, vazão 10m³/hora e altura manométrica 10 m.c.a.

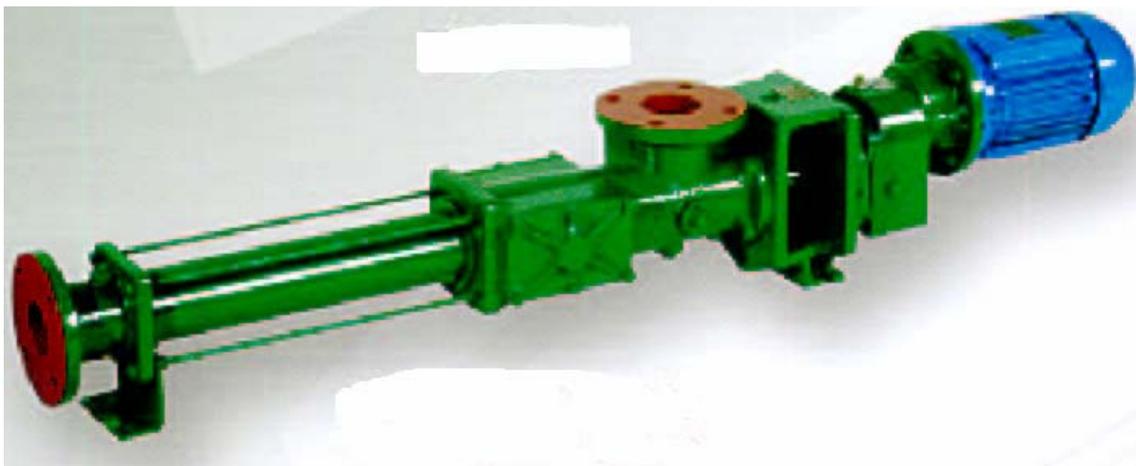


FIGURA 6.9 Conjunto moto-bomba de recirculação das águas clarificadas no Sedimentador e do drenado (NETZSCH DO BRASIL, 2004)

As linhas de recalque para a recirculação da água clarificada e para sólidos do Sedimentador são constituídas de tubos em PVC, marrom, diâmetro 50mm.

A FIGURA 6.10 ilustra de forma esquemática o processo de condicionamento da ALAF e do drenado, recirculação e destinação dos sólidos do Sedimentador.

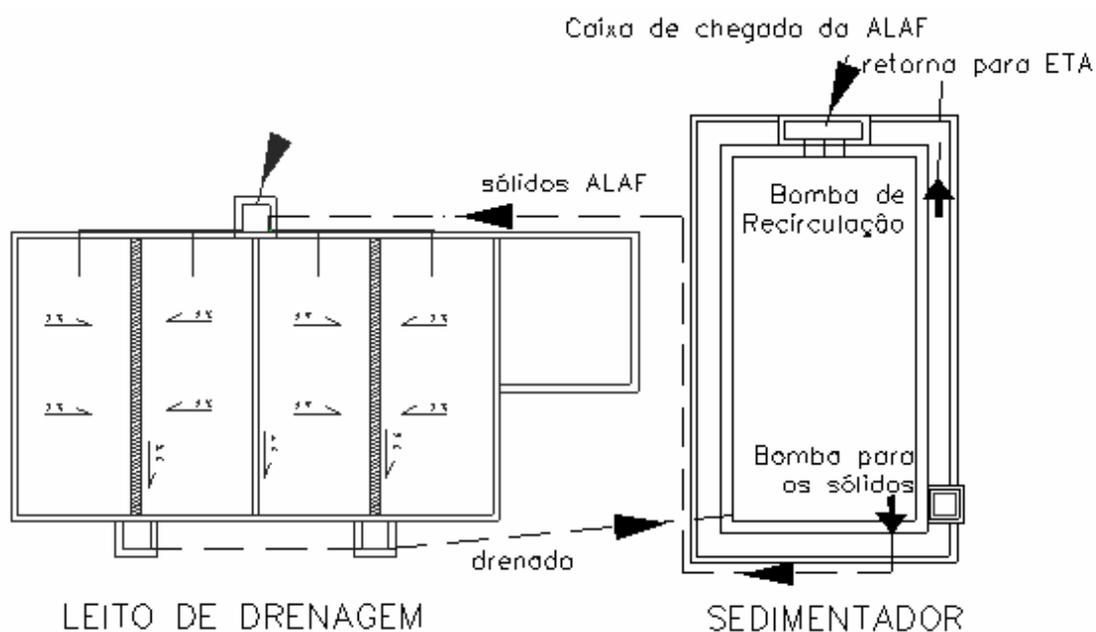


FIGURA 6.10 Ilustração esquemática do condicionamento da ALAF e do drenado, recirculação e destinação dos sólidos do Sedimentador.

6.3.2.2.1 Custo de implantação do Sedimentador

Os custos apropriados para implantação do Sedimentador estão resumidos na TABELA 6.12.

Os custos referentes aos conjuntos de bombeamento da água clarificada e dos sólidos sedimentados não estão incluídos no custo total da obra.

TABELA 6.12 Custo de implantação do Sedimentador na ETA – Cardoso

Item	Serviços	<i>Mês de referência: AGOSTO/2003</i>	
		Custo de implantação (R\$)	
1.	Serviços topográficos		300,00
2.	Estruturas, alvenarias, assentamentos e revestimentos		3.700,00
3.	Fornecimentos de tubos, conexões e acessórios		2.700,00
4.	Fornecimento de tanque em fibra de vidro (41,6m ³)		8.500,00
	TOTAL		15.200,00

6.4 Operação e monitoramento do sistema de tratamento de resíduos da ETA Cardoso

6.4.1 Leito de Drenagem para lodos de decantadores

6.4.1.1 Resultados relativos a volumes de lodo nos decantadores

Os volumes de lodo foram quantificados com o AMOSTRADOR após parada do decantador por duas horas. A água clarificada foi lançada diretamente para os filtros restando apenas a camada de lodo no fundo dos decantadores. Os dados constam na TABELA 6.13, e as camadas de lodo estão representados graficamente nas FIGURAS 6.11 a 6.15.

TABELA 6.13 Altura da camada e volume de lodo nos decantadores

Data	DECANTADOR N° 1		DECANTADOR N° 2	
	H _{CAMADA} (m)	V _{LODO} (m ³)	H _{CAMADA} (m)	V _{LODO} (m ³)
19/09/03	0,49	16,28	-	-
16/10/03	-	-	0,36	11,96
18/11/03	0,31	10,30	-	-
16/12/03	-	-	0,76	25,33
06/01/04	0,93	30,77	-	-

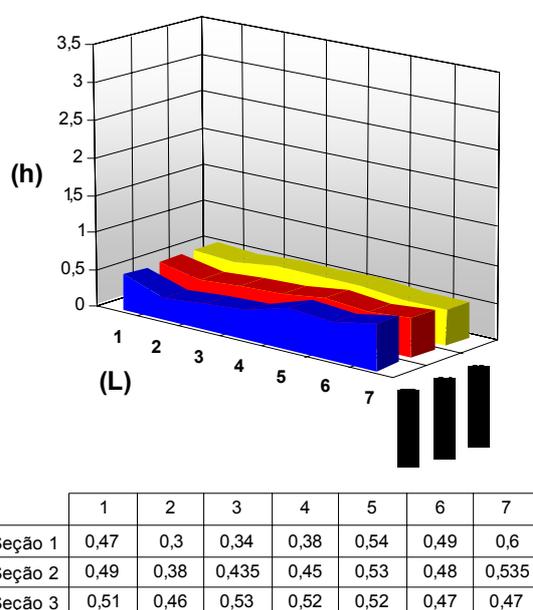
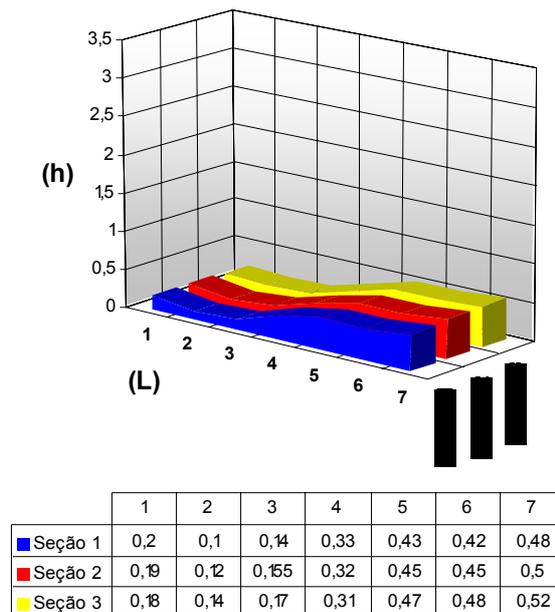
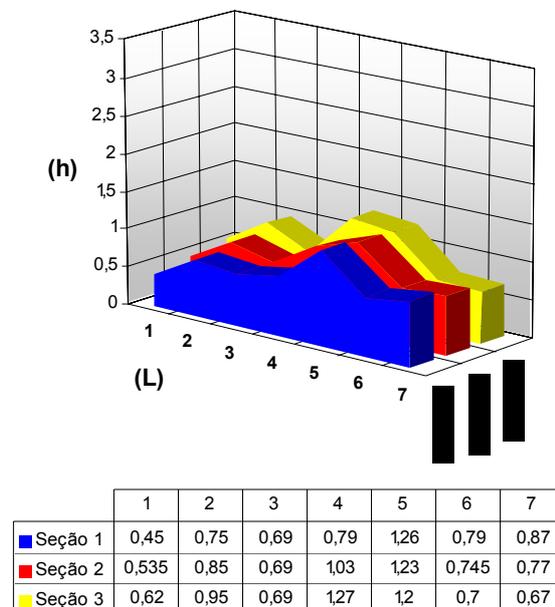


FIGURA 6.11 Representação gráfica da camada de lodo no decantador n° 1 - período de acumulação 11/06/03 a 18/09/03



**FIGURA 6.12 Representação gráfica da camada de lodo no decantador n° 1 -
período de acumulação 19/09/03 a 17/11/03**



**FIGURA 6.13 Representação gráfica da camada de lodo no decantador n° 1 -
período de acumulação 18/11/03 a 06/01/04**

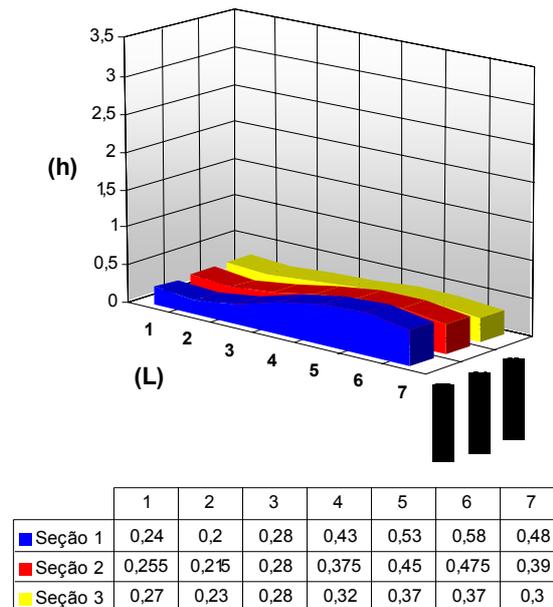


FIGURA 6.14 Representação gráfica da camada de lodo no decantador n° 2 -
período de acumulação 11/06/03 a 16/10/03

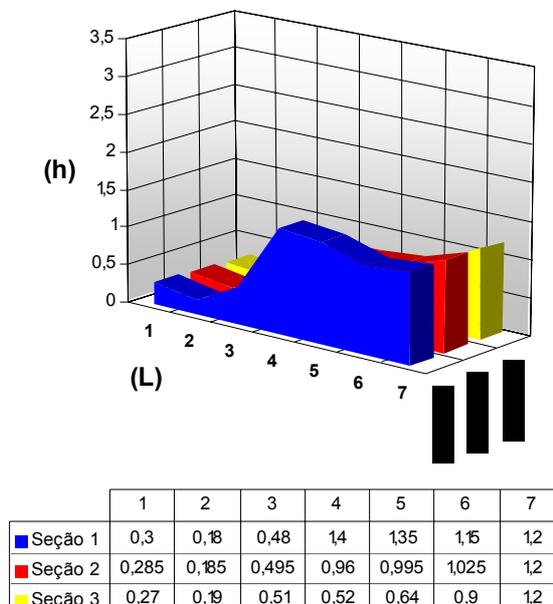


FIGURA 6.15 Representação gráfica da camada de lodo no decantador n° 2 -
período de acumulação 17/10/03 a 16/12/03

Através da FIGURA 6.16 observa-se a camada de lodo remanescente no decantador após um dos lançamentos da água clarificada diretamente para os filtros.



FIGURA 6.16 Camada de lodo após lançamento da água clarificada para os filtros

A FIGURA 6.17 mostra o processo de descarga da camada de lodo e o uso de jatos d'água para limpeza das paredes e fundo dos decantadores.



FIGURA 6.17 Descarga da camada de lodo e limpeza final do decantador

6.4.1.2 Resultados relativos às características do lodo de decantador e drenado do leito

A TABELA 6.14 apresenta os resultados das análises realizadas para o lodo de Decantador e drenado de Leito de Drenagem de amostras coletadas em 16/12/03 e 06/01/04, quanto a Turbidez, pH, série de sólidos e DQO.

TABELA 6.14 Características do lodo de decantador e drenado do Leito de Drenagem – 16/12/03 e 06/01/04

Parâmetros	DECANTADOR		DRENADO	
	16/12/03	06/01/04	16/12/03	06/01/04
Turbidez (uT)	-	-	0,7	0,9
pH	6,6	7,0	6,6	6,8
Sólido sedimentável (mg/L)	860	850	0,08	0,03
Sólido total (mg/L)	98397	28263	261	285
Sólido fixo (mg/L)	30368	20032	102	107
Sólido volátil (mg/L)	68029	8231	159	178
Sólido suspenso total (mg/L)	25150	28400	18	14
Sólido suspenso fixo (mg/L)	1200	5350	5	4
Sólido suspenso volátil (mg/L)	23950	23050	13	10
DQO (mg/L)	6800	4460	23	70

(-) Não determinado

Os resultados dos drenados apresentam características quanto a turbidez, pH, sólidos e DQO, compatíveis com o tratamento podendo ser totalmente recirculados para o início da ETA. Apresentam redução de SST > 99,9% e DQO > 98,00%.

6.4.1.3 Resultados relativos à variação de altura da massa de sólidos residual no leito

Os resultados obtidos de variação de altura da massa de lodo residual (sólidos) que foram coletados durante três períodos de utilização do leito de drenagem e constam nas TABELAS 6.15 a 6.17. Esses dados foram coletados periodicamente, tratados pela equação (5.5), e estão representados graficamente nas FIGURAS 6.18 a

6.20 em combinação como os dados de contribuição de precipitações pluviométricas e evaporação no período de utilização do leito.

TABELA 6.15 Variação da altura da massa de sólidos no leito, combinada com dados de precipitação e evaporação – período 18/11/03 a 16/12/03

Data	Módulo 1		Módulo 2		Pluviometria ⁽¹⁾ (mm)	Evaporação ⁽¹⁾ (mm)
	H (cm)	Redução (%)	H (cm)	Redução (%)		
18/11/03	37		50		5	0
19/11/03	20	45,95	23	54,00	8	4,5
20/11/03	13	64,86	15	70,00	8	5,3
21/11/03	9	75,68	11	78,00	8	8,3
22/11/03	8	78,38	9,5	81,00	8	13,8
23/11/03	7,5	79,73	8,5	83,00	8	15,4
25/11/03	7	81,08	8	84,00	37	15,4
8/12/03	6	83,78	7	86,00	267	47,0
16/12/03	6	83,78	7	86,00	317	74,3

(1) Os índices de Precipitação pluviométrica e Evaporação são acumulados

(-) Não determinado

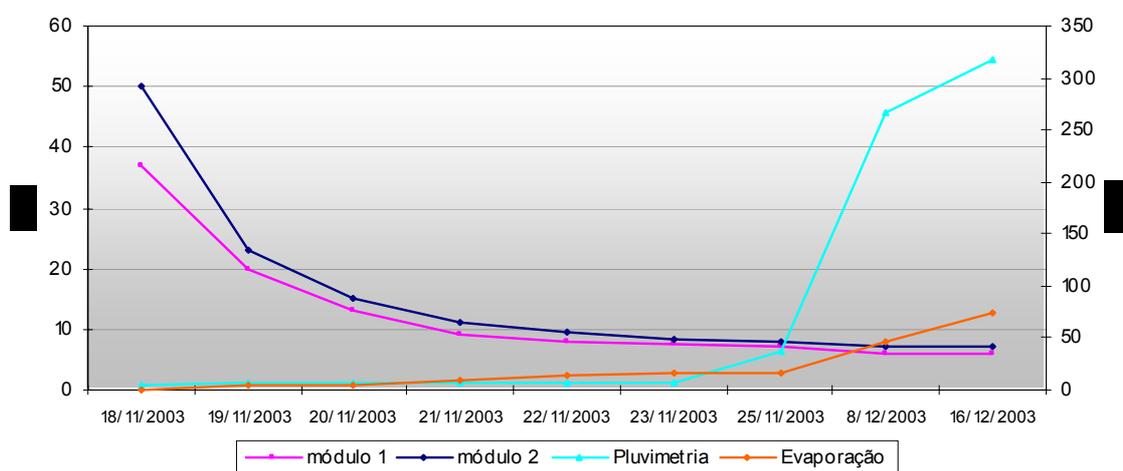


FIGURA 6.18 Variação da altura da massa de sólidos no leito, combinada com dados de precipitação e evaporação - 18/11/03 a 16/12/03

TABELA 6.16 Variação da altura da massa de sólidos no leito, combinada com dados de precipitação e evaporação – período 16/12/03 a 06/01/04

Data	Módulo 1		Módulo 2		Pluviometria ⁽¹⁾ (mm)	Evaporação ⁽¹⁾ (mm)
	H (cm)	Redução (%)	H (cm)	Redução (%)		
16/12/03	31		28		0	6
17/12/03	18	41,94	15	46,43	20	12,3
18/12/03	13	58,06	11	60,71	20	18,5
19/12/03	10	67,74	8	71,43	23	25,1
20/12/03	8	74,19	7	75,00	23	31,4
21/12/03	7	77,42	6	78,57	23	37,5
22/12/03	6	80,65	6	78,57	23	38,4
24/12/03	5,5	82,26	4,4	84,29	26	44,3
25/12/03	5	83,87	4	85,71	26	49,8
06/01/04	3	90,32	3	89,29	73	65,6

(1) Os índices de Precipitação pluviométrica e Evaporação são acumulados

(-) Não determinado

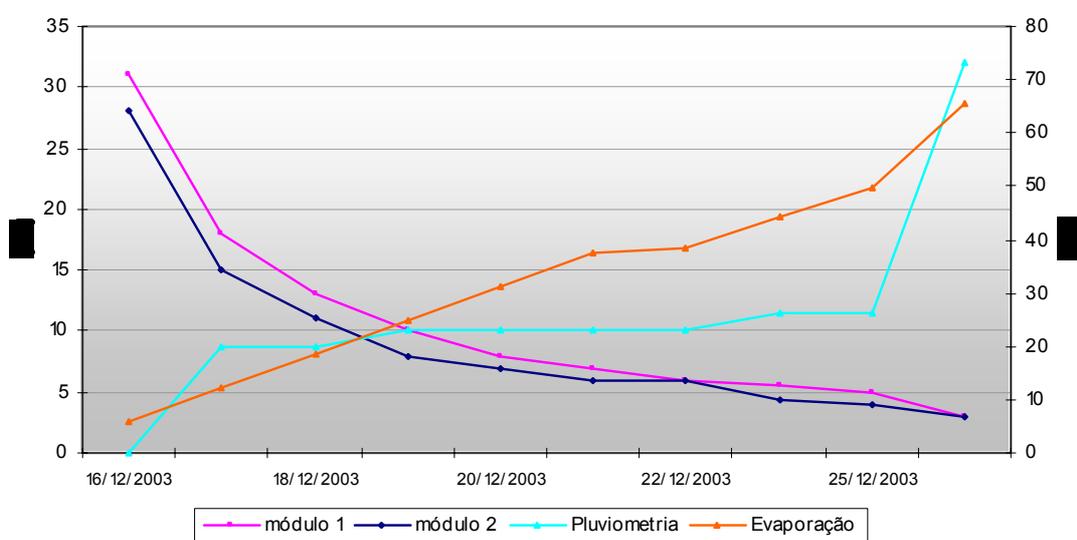


FIGURA 6.19 Variação da altura da massa de sólidos no leito, combinada com dados de precipitação e evaporação - 16/12/03 a 06/01/04

TABELA 6.17 Variação da altura da massa de sólidos no leito, combinada com dados de precipitação e evaporação – período 06/01/04 a 04/02/04

Data	Módulo 1		Módulo 2		Pluviometria ⁽¹⁾ (mm)	Evaporação ⁽¹⁾ (mm)
	H (cm)	Redução (%)	H (cm)	Redução (%)		
06/01/04	42		42		1	4,5
07/01/04	30	28,57	30	28,57	46	4,5
08/01/04	25	40,48	25	40,48	46	6,1
09/01/04	17	59,52	17	59,52	96	9,2
10/01/04	14	66,67	14	66,67	106	9,2
11/01/04	13	69,05	13	69,05	106	12,8
12/01/04	11	73,81	11	73,81	106	14,1
13/01/04	23	45,24	19	54,76	205	18,8
14/01/04	16	61,9	14	66,67	205	21,6
15/01/04	12	71,43	10	76,19	205	26,9
16/01/04	11	73,81	10	76,19	205	32,2
17/01/04	10	76,19	10	76,19	205	38,7
18/01/04	8	80,95	9	78,57	205	44,3
21/01/04	7,5	82,14	8	80,95	205	63,3
25/01/04	7	83,33	7,5	82,14	288	66,5
04/02/04	6,5	84,52	7	83,33	469	71,7

(1) Os índices de Precipitação pluviométrica e Evaporação são acumulados

(-) Não determinado

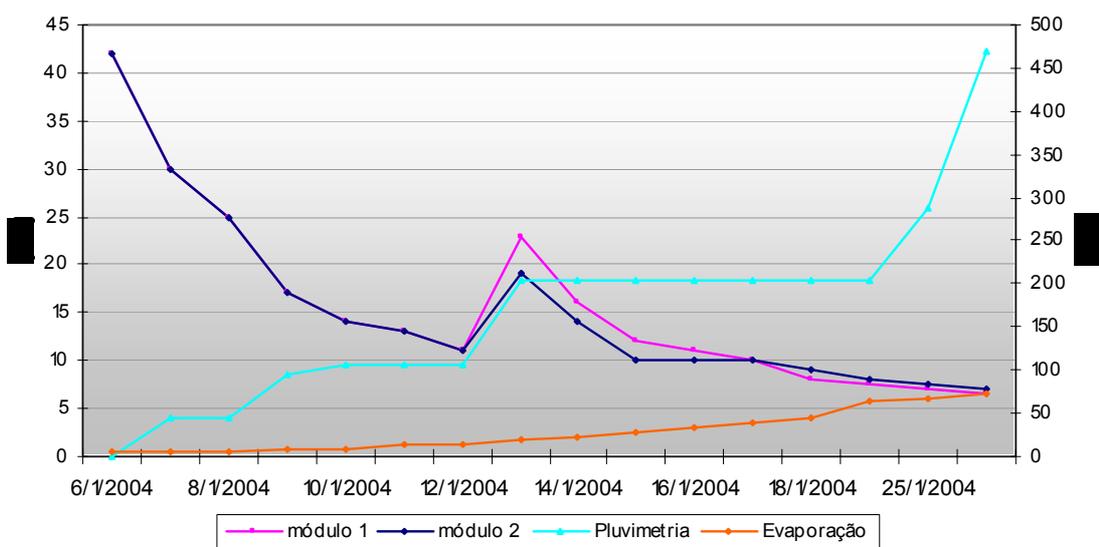


FIGURA 6.20 Variação da altura da massa de sólidos, combinada com dados de precipitação e evaporação - 06/01/04 a 04/02/04

Nas FIGURAS 6.18 e 6.19 correspondentes aos períodos de 18/11/03 a 16/12/03 e 16/12/03 a 06/01/04 observa-se que embora tenham ocorrido precipitações pluviométricas, a variação de altura não sofreu interferência. Isso em função da condição de drenagem em tempo suficiente para que a massa de sólidos sofresse retração apresentando rachaduras e facilitando a drenagem das águas de chuva. Porém, na FIGURA 6.20, que corresponde ao período de 06/01/04 a 04/02/04, observa-se que passados 6 dias do lançamento ainda não havia a condição de rachadura da massa de sólidos fazendo a retenção da água de chuva que acabou por ser drenada e evaporada ao longo do tempo. As prováveis causas da não retração da massa de sólidos pode ser a grande frequência das chuvas no período inicial do lançamento e o lançamento dos sólidos de água de lavagem de filtros do Sedimentador para o Leito de Drenagem. Estes sólidos foram lançados sobre o lodo de decantador e geralmente apresentam características estruturais de tamanho das partículas muito finas e alta resistência específica à filtração em relação aos lodos de decantadores, o que pode ter dificultado a drenagem formando uma camada praticamente seladora no leito. Entretanto, este procedimento não interferiu no resultado final. Mas, é recomendável que o lançamento do lodo do Sedimentador seja simultâneo ao do lodo de decantador para melhor distribuição e diluição.

6.4.1.4 Resultados relativos à variação de teor de sólidos na massa residual no leito

A variação dos teores de sólidos foram obtidas através de coletas periódicas durante dois períodos de utilização do Leito de Drenagem e estão apresentadas na TABELA 6.18. Esses resultados estão representados graficamente na FIGURA 6.21, mostrando a variação ao longo do tempo.

TABELA 6.18 Variação dos teores de sólidos na massa residual no leito – períodos 16/12/03 a 06/01/04 e 06/01/04 a 04/02/04

Data	Período 16/12/03 a 06/01/04		data	Período 06/01/04 a 04/02/04	
	Teor de sólidos (%)			Teor de sólidos (%)	
	Módulo 1	Módulo 2		Módulo 1	Módulo 2
16/12/03	2,51		06/01/04	2,84	
20/12/03	12	11,7	18/01/04	11,8	16,7
24/12/03	18,9	20,5	21/01/04	18,5	18,5
28/12/03	28,4	31,2	24/01/04	17,9	17,4
01/01/04	74,6	69,9	27/01/04	19,9	20,2
06/01/04	68,9	68,40	04/02/04	24,8	22,1

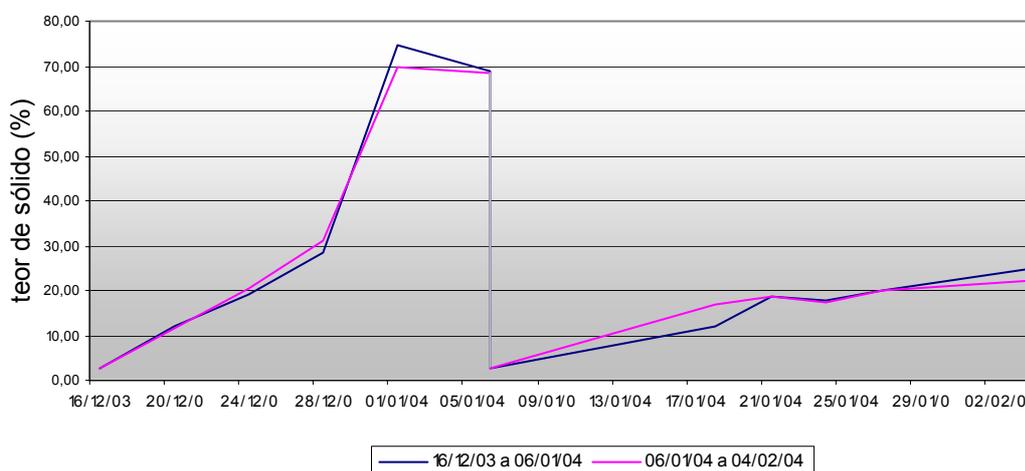


FIGURA 6.21 Variação dos teores de sólidos na massa residual no leito, através do tempo – períodos 16/12/03 a 06/01/04 e 06/01/04 a 04/02/04

Os resultados de teores de sólidos na massa residual no Leito de Drenagem, referentes aos dois períodos analisados, demonstram que as condições climáticas de precipitações pluviométricas e evaporação podem interferir na umidade final dos sólidos, porém não apresentaram dificuldades no manejo de retirada, transporte e destinação final adequada.

6.4.1.5 Resultados relativos à operação do Leito de Drenagem

Os dados relativos à operação do Leito de Drenagem foram apontados durante a execução dos trabalhos cuja seqüência e demanda de mão de obra e equipamentos estão demonstradas na TABELA 6.19.

TABELA 6.19 Seqüência de operações e demanda de mão de obra e equipamentos

Operações	Mão de obra		Equipamentos	
	Tipo	Tempo (h)	Tipo	Tempo (h)
1. Preparo e colocação das mantas ⁽¹⁾	Operacional	6	-	-
2. Retirada das mantas com sólidos ⁽²⁾	Operacional	6	Retroescavadeira	2
3. Retirada dos sólidos ⁽³⁾	Operacional	4,5	-	-
4. Acondicionamento dos sólidos para transporte			Caminhão 4000kg	2

(1) e (2) Operações necessárias somente para ocasiões em que necessita a substituição das mantas;

(3) Os sólidos podem ser retirados com o auxílio de pás (uso doméstico) ou diretamente com as mãos protegidas por luvas de PVC.

As FIGURAS 6.22 a 6.25 ilustram os métodos e ferramentas utilizadas para a retirada dos sólidos e preparo do leito para nova utilização.



FIGURA 6.22 Operação de retirada manual dos sólidos do Leito de Drenagem



FIGURA 6.23 Retirada manual dos sólidos do Leito de Drenagem com uso de pás



FIGURA 6.24 Aspecto das mantas após retirada dos sólidos e o método de limpeza com vassoura preparando para nova utilização



FIGURA 6.25 Aspecto das mantas após retirada dos sólidos em que não houve limpeza com vassoura estando preparada para nova utilização

Na FIGURA 6.25 observa-se que a manta geotextil encontra-se bastante impregnada de sólidos, devido a umidade, relativamente alta dos sólidos, de 78% naquela oportunidade, não permitindo a varrição. Aparentemente, esta condição poderia interferir no processo de drenagem do lodo lançado na subsequência e na qualidade do drenado.

O lançamento subsequente foi o de número 5 com o mesmo jogo de mantas. Após o lançamento, o tempo de drenagem verificado não sofreu alterações significativas e a qualidade do drenado, em análise no local quanto a turbidez e pH, apresentou os resultados conforme TABELA 6.20 não comprometendo a condição de recirculação.

TABELA 6.20 Característica do drenado, quanto a turbidez e pH, na quinta utilização do jogo de mantas no Leito de Drenagem

Tempo (min)	pH	Turbidez (uT)
0	7,4	110
1	7,3	70
2	7,3	57
3	7,3	55
4	7,3	42
5	7,3	36
6	7,3	28
7	7,3	26
8	7,3	21
9	7,4	18
10	7,4	15
11	7,4	3,4
12	7,3	3,2
13	7,2	3,1
14	7,2	3
60	7,0	1,4

Na FIGURA 6.26 os valores estão representados graficamente com tendência ao longo do tempo.

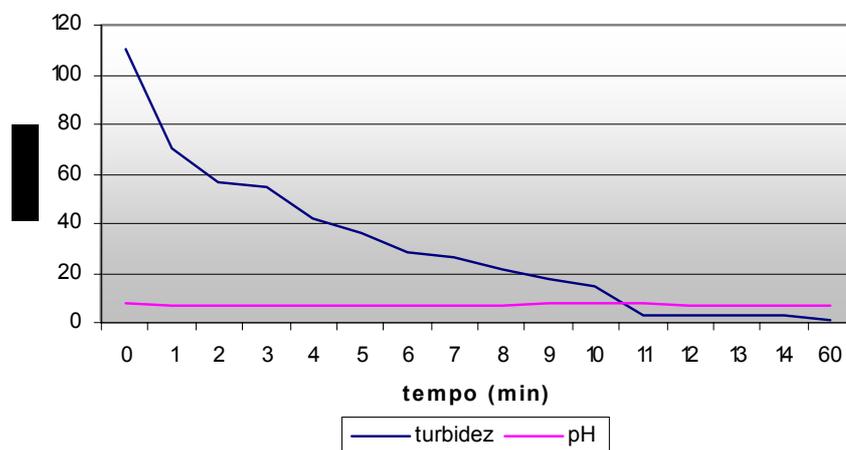


FIGURA 6.26 Característica do drenado, quanto a pH e turbidez, na quinta utilização do jogo de mantas, através do tempo

A FIGURA 6.27 mostra a característica visual do drenado em coletas obtidas para análise durante os primeiros 14 minutos após o início da drenagem.

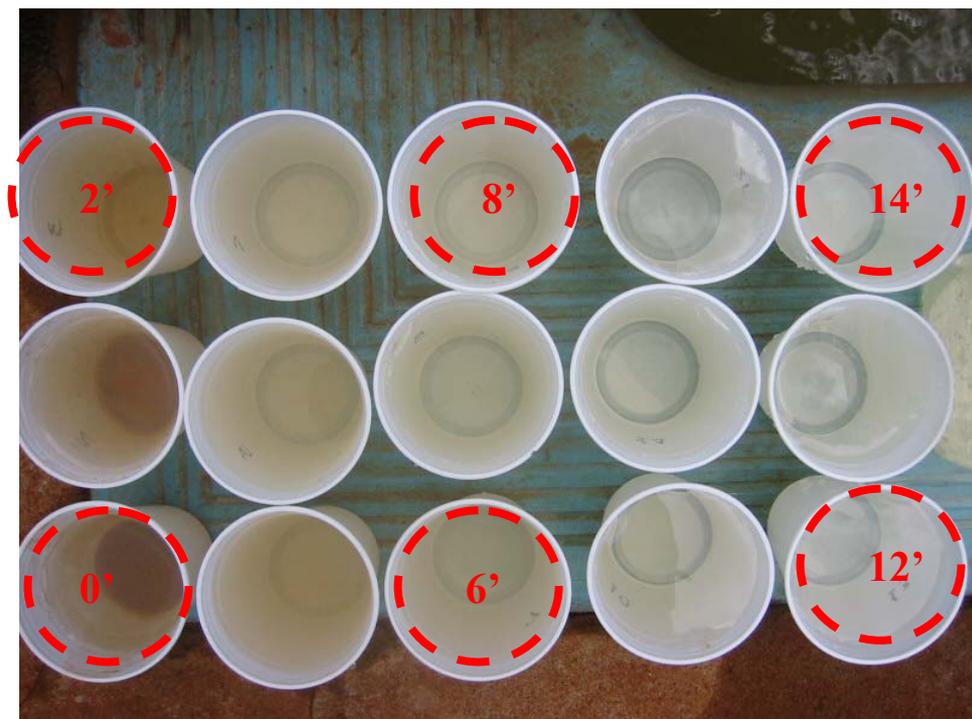


FIGURA 6.27 Característica visual das coletas para análise do drenado, quanto a pH e turbidez, na quinta utilização do jogo de mantas

6.4.2 Sedimentador para as águas de lavagem de filtros

6.4.2.1 Resultados relativos às características da água de recirculação e do lodo sedimentado

Na TABELA 6.21 estão apresentados os resultados das análises realizadas da água de recirculação e do lodo sedimentado, de amostras coletadas, quanto a Turbidez, pH, série de sólidos e DQO. São apresentados também os valores dos parâmetros da água bruta e água de lavagem de filtros, típicos do sistema, para comparação.

TABELA 6.21 Características da água de recirculação e do lodo sedimentado

Parâmetros	Água bruta	Água de lavagem de filtros	Água recirculada	Lodo sedimentado
Turbidez (uT)	32	1000	0,78	-
pH	7,5	6,6	8,1	6,9
Sólido sedimentável (ml/L)	0,1	46	0,01	980
Sólido total (mg/L)	68	1119	287	58344
Sólido fixo (mg/L)	32	300	83	22005
Sólido volátil (mg/L)	36	819	204	36339
Sólido suspenso total (mg/L)	15	410	152	41000
Sólido suspenso fixo (mg/L)	7	50	12	10400
Sólido suspenso volátil (mg/L)	7	360	140	30600
DQO (mg/L)	6	68	8	1050

(-) Não determinado

Os resultados da água recirculada, na coleta, apresentam características quanto a turbidez, pH, sólidos e DQO, compatíveis com o tratamento de ciclo completo podendo ser totalmente recirculado para o início da ETA. Observa-se que os sólidos se apresentam com valores relativamente altos em relação à água bruta, porém, pela quantidade recirculada (< 10% da vazão da ETA) não interfere no processo, podendo servir como núcleos para o crescimento dos flocos (YUZHU, 1996, *apud* FERNANDES, 2002).

O lodo sedimentado apresenta resultados com grande concentração de sólidos sendo compatível com o lançamento juntamente com os lodos de decantadores. É recomendável que sejam aprofundados estudos das características estruturais dos sólidos do sedimentador quanto a resistência específica e tamanho das partículas.

6.4.2.2 Resultados relativos aos volumes de lodo no Sedimentador e da água de lavagem de filtros

Durante o experimento foi realizado somente um lançamento de lodo do Sedimentador para o Leito de Drenagem equivalente ao acúmulo de dois períodos de utilização do leito.

A FIGURA 6.28 mostra a camada de lodo de ALAF acumulada no Sedimentador em condições de recalca para o Leito de Drenagem.



FIGURA 6.28 Camada de lodo de ALAF sedimentado em condições de ser recalcado para o Leito de Drenagem

A quantidade estimativa foi de cerca de $4,00 \text{ m}^3$ para os períodos de 18/11/03 a 06/01/04. A camada de lodo no Sedimentador correspondeu a uma altura de cerca de 0,13m. O volume de água de lavagem de filtros nesse período foi de $690,00 \text{ m}^3$ tendo sido toda água clarificada recirculada para o início do tratamento.

6.4.2.3 Resultados relativos à operação do Sedimentador

A operação do Sedimentador não requer nenhuma mão de obra específica.

O sistema de recalque é acionado pelo próprio operador da estação por um período de cerca de 4 horas antes da operação de lavagem de filtro para permitir a retenção da água descarregada nessa operação.

A FIGURA 6.29 mostra o sistema de recalque da água clarificada do Sedimentador.



FIGURA 6.29 Sistema de recalque da água clarificada do Sedimentador para o início da estação

Na operação de descarga dos sólidos sedimentados para o Leito de Drenagem a água clarificada é totalmente recirculada pra início da ETA restando praticamente somente o lodo de ALAF no sedimentador. Através de um sistema próprio de recalque o operador aciona o equipamento lançando diretamente para o leito juntamente com o lodo de decantador. A lavagem final é feita através de jatos de água

que praticamente não interfere, em quantidade, no lodo. O tempo para esta operação não ultrapassou 20 minutos.

6.5 Resultado da análise dos sólidos residuais do Leito de Drenagem para Classificação de Resíduos Sólidos (NBR 10004/87)

Uma amostra dos sólidos residuais no leito de drenagem retirado no dia 16/12/03 foi encaminhada para laboratório contratado e credenciado para classificação de acordo com a NBR 10004/87 da ABNT. Os resultados analíticos do Solubilizado, Lixiviado e Massa Bruta estão apresentados nas TABELAS 6.22 a 6.24.

TABELA 6.22 Resultados analíticos do SOLUBILIZADO da amostra de sólidos residuais do Leito de Drenagem

Parâmetros	Unidade	LQ*	Resultados	VMP**
<i>1-SOLUBILIZADO</i>				
Arsênio	mg/L	0,05	< 0,05	0,05
Bário	mg/L	0,1	1,28	1,0
Cádmio	mg/L	0,005	< 0,005	0,005
Chumbo	mg/L	0,05	< 0,05	0,05
Cianetos	mg/L	0,1	< 0,1	0,1
Cromo Total	mg/L	0,05	< 0,05	0,05
Fenóis	mg/L	0,001	0,12	0,001
Fluoretos	mg/L	0,1	0,28	1,5
Mercúrio	mg/L	0,001	< 0,01	0,001
Nitratos	mg/L	0,1	< 0,1	10
Prata	mg/L	0,05	< 0,05	0,05
Selênio	mg/L	0,01	< 0,01	0,01
Alumínio	mg/L	0,05	1,08	0,2
Cloretos	mg/L	5	14,0	250,0
Cobre	mg/L	0,05	< 0,05	1,0
Dureza	mg/L	5	76,6	500
Ferro	mg/L	0,05	5,30	0,3
Manganês	mg/L	0,05	10,1	0,1
Sódio	mg/L	0,5	1,38	200,0
Surfactantes	mg/L	0,1	< 0,1	0,2
Sulfatos	mg/L	5	< 5	400

continua

				conclusão
Zinco	mg/L	0,05	< 0,05	5
pH Inicial			7,3	
pH Final			7,3	
DDT	mg/L	0,001	< 0,001	$1,0 \times 10^{-3}$
Clordano	mg/L	0,0001	< 0,0001	$3,0 \times 10^{-4}$
Dieldrin	mg/L	0,00003	< 0,00003	$3,0 \times 10^{-5}$
Endrin	mg/L	0,0001	< 0,0001	$2,0 \times 10^{-4}$
Epoxi Heptacloro	mg/L	0,0001	< 0,0001	$1,0 \times 10^{-4}$
Heptacloro	mg/L	0,0001	< 0,0001	$1,0 \times 10^{-4}$
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,00001	< 0,00001	$1,0 \times 10^{-5}$
Lindano	mg/L	0,0001	< 0,0001	$3,0 \times 10^{-3}$
Metoxicloro	mg/L	0,01	< 0,01	0,03
Pentaclorofenol	mg/L	0,01	< 0,01	0,01
Toxafeno	mg/L	0,001	< 0,001	$5,0 \times 10^{-3}$
2,4 – D	mg/L	0,01	< 0,01	0,1
2,4,5 – T	mg/L	0,001	< 0,001	$2,0 \times 10^{-3}$
2,4,5 – TP	mg/L	0,01	< 0,01	0,03
Organofosforado e Carbamatos	mg/L	0,1	< 0,1	0,1

LQ*: Limite de Quantificação

VMP** Valores Máximos Permitidos pela Norma ABNT NBR 10004.

TABELA 6.23 Resultados analíticos do LIXIVIADO da amostra de sólidos residuais do Leito de Drenagem

Parâmetros	Unidade	LQ*	Resultados	MP**
-LIXIVIADO				
Arsênio	mg/L	0,05	< 0,05	5,0
Bário	mg/L	0,1	1,36	100
Cádmio	mg/L	0,05	< 0,05	0,5
Chumbo	mg/L	0,05	< 0,05	5,0
Cromo Total	mg/L	0,05	< 0,05	5,0
Fluoretos	mg/L	0,1	0,14	150,0
Mercúrio	mg/L	0,05	< 0,05	0,1
Prata	mg/L	0,05	< 0,05	5,0
Selênio	mg/L	0,05	< 0,05	1,0
pH Inicial			7,3	
pH Final			4,9	
Volume de Ac. Acético 0,5 N	mL		11	Até 400
Tempo de Lixiviação	Horas		24	24-28
Aldrin	mg/L	0,001	< 0,001	0,003
Clordano	mg/L	0,01	< 0,01	0,03
DDT	mg/L	0,01	< 0,01	0,1
Dieldrin	mg/L	0,001	< 0,001	0,003

continua

				conclusão
Endrin	mg/L	0,01	< 0,01	0,02
Epoxi Heptacloro	mg/L	0,005	< 0,005	0,01
Heptacloro	mg/L	0,005	< 0,005	0,01
Hexaclorobenzeno	mg/L	0,0001	< 0,0001	0,001
Lindano	mg/L	0,01	< 0,01	0,3
Metoxicloro	mg/L	0,5	< 0,5	3,0
Pentaclorofenol	mg/L	0,5	< 0,5	1,0
Toxafeno	mg/L	0,01	< 0,01	0,5
2,4 – D	mg/L	0,5	< 0,5	10,0
2,4,5 – T	mg/L	0,01	< 0,01	0,2
2,4,5 – TP	mg/L	0,5	< 0,5	3,0
Organofosf. Carbamatos	^e mg/L	10	< 10	10,0

LQ*: Limite de Quantificação

VMP** Valores Máximos Permitidos pela Norma ABNT NBR 10004.

TABELA 6.24 Resultados analíticos da MASSA BRUTA da amostra de sólidos residuais do Leito de Drenagem

Parâmetros	Unidade	LQ*	Resultados	VMP**
3-MASSA BRUTA				
Umidade	%	0,05	73,4	
pH		0,1	7,2	> 2 < 12,5
Berílio	mg/kg	1	< 1	100
Cromo VI	mg/kg	1	< 1	100
Mercúrio	mg/kg	1	< 1	100
Vanádio	mg/kg	1	18,1	1000
Chumbo	mg/kg	1	3,18	1000
Selênio	mg/kg	1	< 1	100
Arsênio	mg/kg	1	< 1	1000
Cianetos	mg/kg	1	< 1	1000
Fenóis	mg/kg	0,5	0,50	10
Hidrocarb.Líquidos/Bombeáveis	%	0,05	< 0,05	5
Benzeno	mg/kg	0,05	< 0,05	20,0
Benzo (a) pireno	mg/kg	0,01	< 0,01	0,02
Clorofórmio	mg/kg	0,05	< 0,05	60,0
Dicloroetano	mg/kg	0,05	< 0,05	20,0
Dicloroeteno	mg/kg	0,05	< 0,05	0,6
Tetracloroeto de Carbono	mg/kg	0,05	< 0,05	6,0
Tetracloroeteno	mg/kg	0,05	< 0,05	20,0
Tricloroeteno	mg/kg	0,05	< 0,05	60,0
2,4,6 Triclorofenol	mg/kg	5	< 5	20,0

LQ*: Limite de Quantificação

VMP** Valores Máximos Permitidos pela Norma ABNT NBR 10004.

Interpretação dos resultados:

- **Solubilizado:** Os parâmetros Bário, Fenóis, Alumínio, Ferro e Manganês ultrapassaram os Limites Máximos Permitidos, baseados na listagem N°. 8 da ABNT NBR 10.004/87.
- **Lixiviado:** Os parâmetros não ultrapassaram os Limites Máximos Permitidos, baseados na listagem N°. 7 da ABNT NBR 10004/87.
- **Massa Bruta:** Os parâmetros não ultrapassaram os Limites Máximos Permitidos, baseados na listagem N°. 9 da ABNT NBR 10004/87.

Em função dos resultados obtidos o resíduo, identificado como “**Lodo da ETA Cardoso**”, é considerado como de **Classe II – Não Inerte**. Foram consultadas as listagens N°. 7, 8 e 9 da Norma ABNT NBR 10004/87.

Conforme o Decreto 8468/76 que regulamenta a Lei 997/76, no Estado de São Paulo, em seu artigo 52 estabelece que “*a disposição final de resíduos de qualquer natureza seja feita de **forma adequada** ... , ficando vedada a simples descarga ou depósito, seja em propriedade pública ou particular*”.

O órgão de fiscalização ambiental no Estado de São Paulo entende que a **forma adequada** de disposição é a codisposição em aterro sanitário controlado. Porém, outras formas de disposição podem ser estudadas e atender ao disposto na legislação.

6.6 Resultados da mistura dos resíduos sólidos da ETA Cardoso em argila para fins cerâmicos como solução para disposição adequada

Visando uma disposição benéfica dos resíduos sólidos da ETA Cardoso, foram realizados ensaios visando à incorporação desses resíduos (lodo desaguado) em argila para produção de blocos cerâmicos para alvenaria de vedação. Os resultados dos

ensaios encontram-se na TABELA 6.25 mostrando as características cerâmicas dos corpos de prova com misturas de 1% e 3% de resíduo.

TABELA 6.25 Características cerâmicas dos corpos de prova com mistura de lodo da ETA Cardoso

Mistura	T (°C)	PF (%)	CL (%)	TRF (MPa)	AA (%)	PA (%)	MEA (kg/m ³)	Cor
1%	850	8,2	1,2	6,3	18,0	33,0	1834	Vermelha
	950	8,2	2,1	11,7	17,0	31,9	1871	Vermelha
3%	850	8,2	1,2	5,9	18,9	34,0	1805	Vermelha
	950	8,3	1,9	10,8	17,7	32,7	1848	Vermelha

PF: Perda ao fogo; CL: Contração linear após queima; TRF: Resistência à flexão; AA: Absorção de água; PA: Porosidade aparente; MEA: Massa específica aparente.

A FIGURA 6.30 mostra a característica visual dos corpos de prova utilizados nos ensaios.

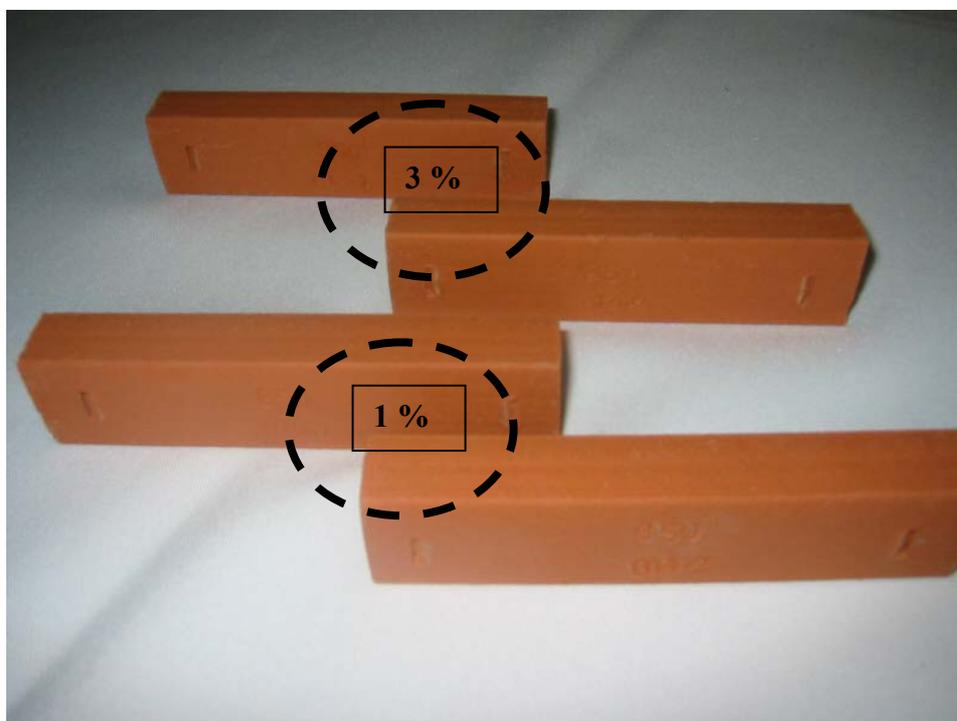


FIGURA 6.30 Característica visual dos corpos de prova cerâmicos com lodo da ETA Cardoso incorporado

6.7 Resultados da análise econômica do sistema de tratamento dos resíduos da ETA Cardoso

Os resultados da amortização do valor econômico investido no sistema de tratamento de resíduos de Cardoso estão apresentados na TABELA 6.26.

TABELA 6.26 Resultado da análise econômica do investimento no sistema de tratamento de resíduos da ETA Cardoso

Tempo de amortização	Valor por habitante. ano (R\$)	Valor por m³ . ano (R\$)	Valor a ser adicionado em conta (R\$)
1 ano	6,423	0,107	1,552
2 anos	3,211	0,053	0,776
3 anos	2,141	0,036	0,517
4 anos	1,606	0,027	0,388
5 anos	1,285	0,021	0,310
10 anos	0,642	0,011	0,155

Pelos dados disponíveis, o valor médio de conta por economia em comunidades operadas pela Sabesp, na região, é de cerca de R\$ 32,00 e cada economia corresponde a 2,9 habitantes. Assim, observa-se que com um valor menor que 1% adicionado nas contas dos clientes o investimento retornará, em valor econômico inicial, em apenas 5 anos.

7 CONCLUSÕES

Da pesquisa realizada pode-se concluir que:

- Existe necessidade para ETAs convencionais de se trabalhar com os resíduos de decantadores e filtros separadamente com processos específicos de Leito de Drenagem e Sedimentador;
- Operacionalmente o trabalho mostrou que para melhor efetividade do sistema existe a necessidade de se deixar o decantador fora de operação por um tempo que deve ser determinado para cada caso. No caso da ETA Cardoso que, em função de sua condição operacional, funciona menos que 24 horas por dia, a operação de lavagem é realizada sempre no início da manhã lançando a água clarificada diretamente para os filtros que corresponde a cerca de 80% do seu volume;
- Mostrou-se também a necessidade de utilização do protótipo de leito para estabelecimento de parâmetros fundamentais para projeto. Com esses parâmetros e as avaliações quantitativas referentes a produção de sólidos na ETA foi possível a projeção do volume necessário para a implantação do leito.
- O tempo médio de remoção da água livre presente no lodo foi de cerca de 90 horas, para o protótipo, determinado, neste caso, visualmente. Para o Leito de Drenagem implantado este tempo foi determinado com anotações diárias tendo sido de cerca de 36 horas, sem precipitações pluviométricas nos primeiros dias após o lançamento;
- As características da água drenada mostraram que o sistema possui excelente condição de clarificação fornecendo um drenado com valores de turbidez menor que 1,0 (uT) e redução de SST acima de 99,9% e de DQO maior que 98,00%.

- Toda água drenada foi enviada ao Sedimentador e totalmente recuperada, sendo recirculada para o início do tratamento;
- A água de lavagem dos filtros foi encaminhada para o Sedimentador que após duas horas já se encontrava clarificada podendo ser recirculada para início do tratamento;
- Assim, praticamente toda água livre dos despejos; água de lavagem de filtros e de decantador, pode ser recuperada sem interferências notadas no processo;
- O processo de retirada dos sólidos do leito de drenagem pode ser manualmente sem a necessidade de retirada e lavagem das mantas. A limpeza das mantas pode ser por varrição sendo suficiente para recolocar o leito em operação sem comprometer a qualidade do drenado;
- Durante o período de funcionamento do sistema as mantas não foram substituídas permitindo, até o momento, o lançamento de 5 descargas de lodo.
- No caso estudado o tempo definido para descargas dos decantadores, defasadas de 30 dias entre eles, se demonstrou suficiente, uma vez que os sólidos foram removidos em condições satisfatórias para manejo dentro desse período;
- As precipitações ocorridas nos períodos de secagem somente irão interferir se ocorrerem nos primeiros dias após o lançamento do lodo no leito. Deve-se ressaltar que logo depois da retração dos sólidos expondo a manta, não mais interferirão, fazendo com que essas águas sejam encaminhadas ao sedimentador e recuperadas;
- De acordo com a literatura e dados observados neste trabalho o lançamento desses resíduos diretamente nos cursos d'água pode provocar danos ao meio

ambiente, e no caso, não havendo esse descarte, o sistema se mostra ambientalmente correto;

- Esse sistema, mesmo para estações de pequeno porte exige a disponibilidade de área interna ou externamente desde que apresentem condições de uso;

- As conclusões parciais apontadas mostram a total viabilidade de funcionamento do sistema, apesar dos poucos dados disponíveis em função do tempo de funcionamento do mesmo, porém aparentemente, não irão interferir decisivamente na funcionabilidade. As recomendações a seguir poderão tornar mais efetivo ainda o seu controle.

8 RECOMENDAÇÕES

Considerando as conclusões anteriores e as análises efetuadas, recomenda-se que:

- Seja realizada uma avaliação operacional mais aprofundada em cada estudo com relação a água bruta, condições operacionais, inclusive lavagem de decantadores e filtros, quantitativa e qualitativamente e características topográficas da área, bem como sua disponibilidade;
- Seja utilizado um protótipo para avaliações de parâmetro de projeto;
- Para sistemas com descargas diárias de lodo são necessários estudos mais aprofundados em função do arranjo a ser adotado uma vez que os resíduos dos decantadores terão teores de sólidos muito baixos e poderiam estar sendo lançados no Sedimentador em conjunto com a água de lavagem de filtros. O lodo resultante poderá ser encaminhado a um Leito de Drenagem;
- Sejam estudadas as características estruturais dos lodos do sedimentador quanto a resistência específica e tamanho das partículas;
- Sejam elaborados estudos de custos de instalação e operação comparados, principalmente, com sistemas mecânicos;
- Seja estudada, para regiões com alta frequência de precipitação de chuvas, a implantação de cobertura para o Leito de Drenagem com mantas plásticas (aplicadas em “plasticultura”), principalmente nos primeiros dias após o lançamento;
- Recomenda-se treinamento dos funcionários envolvidos para que se evite danos ao sistema drenante;

- Desenvolvimento de pesquisas de incorporação dos sólidos desaguados em materiais cerâmicos ou outros relacionados à construção civil desde que não sejam utilizados em elementos estruturais ou em construções que tenham contato com água potável.
- Que seja efetuada a caracterização do lodo seco, através do protótipo de Leito de Drenagem, de acordo com Norma NBR 10004/87, para se decidir sobre sua melhor destinação.

9 BIBLIOGRAFIA

- APHA, AWWA & WPCF. (1998). *Standard Methods for examination of water and wastewater*. 19ª ed. New York, APHA. 1193p.
- ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO. (1976). *Sistema de prevenção e controle de poluição do meio ambiente: Lei 997*, São Paulo, SP.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). *ABNT NBR 10004 - Resíduos Sólidos*. São Paulo.
- BARROSO M.M. (2002). *Problemática dos metais e sólidos no tratamento de água (Estação convencional ou de ciclo completo)*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade São Paulo.
- BIDONI, F. et al (2001). *Lodos produzidos nas Estações de Tratamento de Água (ETAs): Desidratação em Leitões de Secagem e Codisposição em Aterros Sanitários*. In.: ANDREOLI, C.V. et al. (2001). *Coord. Resíduos sólidos do saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final*. Rio de Janeiro: ABES. Projeto PROSAB.
- BISOGENIN, J.L.M. et al (1999). *Secagem de lodo de ETA em Leito Convencional*. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, ABES.
- CAMPOS, J.R. (1994). *Alternativas para tratamento de esgotos – Pré tratamento de águas para abastecimento*. Ribeirão Preto. ASSEMAE.
- CETESB (1977). *Técnica de Abastecimento e Tratamento de água*. 2ª ed. rev., São Paulo, CETESB, 2v. il.
- CIIAGRO - Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas do IAC - Instituto Agrônomo de Campinas, disponível em www.iac.sp.gov.br/ciiagro, jan/2004.
- CORDEIRO, J.S. (1981). *Disposição, tratabilidade e reuso de lodos de estações de tratamento de água*. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CORDEIRO, J.S. (1993). *O problema dos lodos gerados nos decantadores em estações de tratamento de água*. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CORDEIRO, J.S. (1999). *Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs*. In.: REALI, M.A.P. et al. (1999). *Coord. Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água*. Rio de Janeiro: ABES. Projeto PROSAB.
- CORDEIRO, J.S. (1999). *Remoção de água de lodos de ETAs através de filtração forçada*. In.: REALI, M.A.P. et al. (1999). *Coord. Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água*. Rio de Janeiro: ABES. Projeto PROSAB.
- CORDEIRO, J.S. (2001). *Processamento de lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs)*. In.: ANDREOLI, C.V. et al. (2001). *Coord. Resíduos sólidos do saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final*. Rio de Janeiro: ABES. Projeto PROSAB.

- CORDEIRO, J.S. (2003). *Rejeitos de estações de tratamento de água – O estado da arte no Brasil*. IV Congresso Nacional, Punta Del Este: Sección Uruguay, AIDIS.
- CORNWELL, D.A . et al. (1987). *Water treatment plant waste management*. Denver. Environmental Engineering & Technology, Inc., AWWA Resarch Foundation.
- CORNWELL, D.A . et al. (1990). *Slib, Schlamm, Sludge*. Denver. EUA, Inc., AWWA Resarch Foundation and KIWA.
- DI BERNARDO, L. (1995). *Algas e suas influências na qualidade das águas e nas tecnologias de tratamento*. Rio de Janeiro: ABES.
- DI BERNARDO, L. et all. (1999). *Água de Lavagem de Filtros Rápidos*. In.: REALI, M.A.P. et al. (1999). Coord. *Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água*. Rio de Janeiro: ABES. Projeto PROSAB.
- FERNANDES, A.N. (2002). *Balanço de massa e produção de lodo da Estação de Tratamento de Água Alto da Boa Vista - SABESP*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- FERREIRA FILHO S.S. et al (1999), *Redução de Perdas e tratamento de lodo em ETA*. PNCDA, Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano – Secretaria de Política Urbana, Presidência da República, Brasília, DF.
- FERREIRA FILHO, S.S.& SOBRINHO, P.A. (1998) *Considerações sobre o tratamento de lodos de estações de tratamento de água*. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental.
- GRANDIN, S. (1992). *Desidratação de lodos produzidos nas estações de tratamento de água*. São Paulo. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2000). *Censo demográfico*: Brasilia, DF.
- KAWAMURA, S. (2000). *Integrated design and opeeration of Water Treatment Facilities*. New York, NY, John Wiley & Sons Inc, 2ª ed.
- MANCUSO, P.C.S. et al. (2003). *Reuso da Água*. São Paulo, Ed. Manole Ltda.
- MENDES, L.R. (2001). *Adensamento e desguamento mecânicos de lodos gerados em ETA*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (1998). *Lei da Vida - A lei dos Crimes Ambientais: lei 9605*, Brasília, DF.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (2000). *Portaria 1469/GM*, Brasília, DF, Dez.
- NAVE MENDES, C.G (1998). *relatório técnico - Sistema de Coleta e Descarga de Fundo de Lodos Precipitados em Decantadores Utilizados no Tratamento de Águas para Abastecimento ou Águas Residuárias*. Departamento de Saneamento e Ambiente. Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP
- NETZSCH DO BRASIL, 2003. *Catálogo de bombas*. Disponível em www.netzsch.com.br/bombas/index.php3, acesso em Jan/2003.
- OLIVEIRA, F.L. et all (2002). *ETA São José dos Campos – Estudos iniciais de concepção do Sistema de Tratamento de lodo*, XIII Encontro Técnico AESABESP, CD-ROM.

- PATRIZZI, L.J. (1998). *Redução de lodo gerado em decantadores de estações de tratamento de água (ETAs) tradicionais, utilizando espessamento por flotação e por gravidade seguidos de centrifugação*. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- PRSEKIAN, M.P.S. (1998). *Análise e proposta de formas de gerenciamento de ETAs de abastecimento completo em cidades de porte médio do Estado de São Paulo*. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- REALI, M.A.P. et al. (1999). *Desidratação de Lodo por Centrifugação*. In.: REALI, M.A.P. et al. (1999). Coord. *Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água*. Rio de Janeiro: ABES. Projeto PROSAB.
- RICHTER C.A. (2001). *Tratamento de lodos de estações de tratamento de água*. São Paulo, Ed. Blücher.
- RICHTER C.A. et al. (1995). *Tratamento de Água - Tecnologia atualizada*. São Paulo, Ed. Blücher.
- SABESP (2003). *Tratamento de lodos de Estações de Tratamento de água*. Relatório Técnico. DSR, Cia. Saneamento Básico do Estado de São Paulo.
- SARON A. et al. (2001). *Quantificação de lodo em estação de tratamento de água*. 21º Congresso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – *Anais* – Rio de Janeiro, RJ.
- SILVA.A.P. (2000). *Avaliação da lixiviação de alumínio e da produção de ácidos graxos voláteis em reatores anaeróbios utilizados para estudar a disposição final de lodos de ETAs em aterros sanitários*. ABES – XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- SOUZA FILHO, A. G. (1999). *Caracterização e clarificação da água de lavagem dos filtros de uma ETA que utiliza cloreto férrico como coagulante primário*. 20º Congresso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – *Anais* – Rio de Janeiro, RJ.
- VALENCIA, J.A. (1992). *Teoría y practica de la purificación del agua*. Asociacion Colombiana de Ingenieria Sanitária y ambiental – ACODAL.