

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

**DIAGNÓSTICO DOS RESÍDUOS GERADOS EM ESTAÇÕES DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA NAS BACIAS DOS RIOS PIRACICABA,  
CAPIVARI E JUNDIAÍ - SP**

**ALEXANDRE LUIS ALMEIDA VILELLA**

São Carlos

2011

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

**DIAGNÓSTICO DOS RESÍDUOS GERADOS EM ESTAÇÕES DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA NAS BACIAS DOS RIOS PIRACICABA,  
CAPIVARI E JUNDIAÍ - SP**

**ALEXANDRE LUIS ALMEIDA VILELLA**

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

Orientação: Prof. Dr. João Sérgio Cordeiro

São Carlos

2011

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

V699dr

Vilella, Alexandre Luis Almeida.

Diagnóstico dos resíduos gerados em estações de tratamento de água nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá - SP / Alexandre Luis Almeida Vilella. -- São Carlos : UFSCar, 2011.  
98 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2011.

1. Saneamento. 2. Estação de tratamento de água. 3. Lodo. 4. Piracicaba/Capivari/Jundiá, Bacias (SP). I. Título.

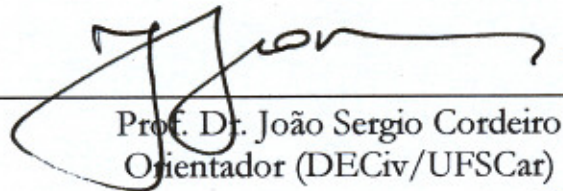
CDD: 363.72 (20ª)



## FOLHA DE APROVAÇÃO

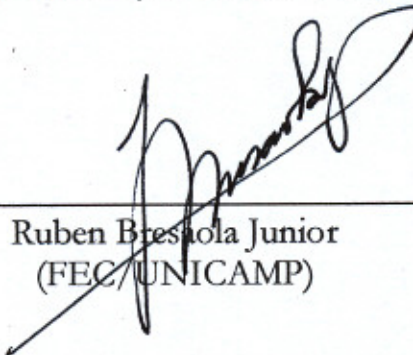
ALEXANDRE LUIS ALMEIDA VILELLA

Dissertação defendida e aprovada em 26/07/2011  
pela Comissão Julgadora



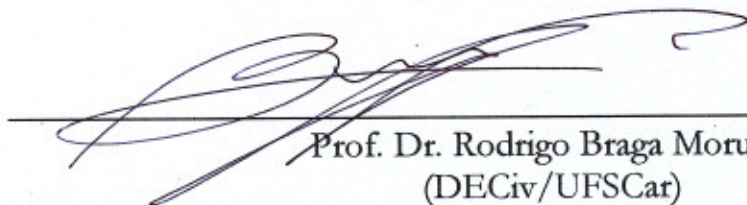
---

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



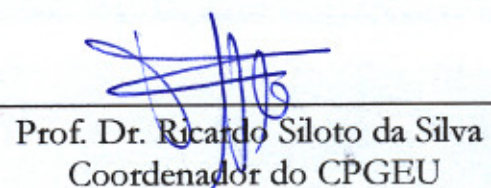
---

Ruben Bressola Junior  
(FEC/UNICAMP)



---

Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi  
(DECiv/UFSCar)



---

Prof. Dr. Ricardo Siloto da Silva  
Coordenador do CPGEU

*“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.*

*Art. 225 - Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*

## **AGRADECIMENTOS**

A toda minha grandiosa família e em especial aos meus pais, Luis Carlos e Terê, que sempre me apoiaram e a cada dia me incentivam para que a busca do conhecimento seja incessante.

A minha namorada, Carolina, pela compreensão dos diversos momentos de dedicação e força para a realização do trabalho em todos os momentos.

A “família Consórcio PCJ”, diretoria, estagiários, coordenadores, gerentes e funcionários, pela disponibilidade e apoio para a realização desse trabalho.

A equipe do Consórcio de empresas BioCiclo pela parceria e intercâmbios de informações.

A Câmara Técnica de Saneamento dos Comitês PCJ, municípios e operadores do saneamento pelo envolvimento, fornecimento das informações e parceria.

A todos os meus amigos que direta ou indiretamente contribuíram. Aos amigos do PPGEU/UFSCar pelo apoio, ajuda, e convivência.

A coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e todos os docentes e discentes pela confiança no desenvolvimento dessa pesquisa, na aquisição de novas experiências e de conhecimentos. A Secretaria do PPGEU, em especial a funcionária Sônia, pela paciência, apoio e determinação na condução dos procedimentos e resolução dos problemas.

Ao Prof. Dr. Rodrigo Moruzzi, que fomentou, incentivou e apoiou o ingresso no mestrado do PPPGEU/UFSCAR.

Ao amigo, professor e orientador, Dr. João Sérgio Cordeiro, pelas inúmeras horas de dedicação, paciência, apoio, compreensão, troca de conhecimentos, confiança e, principalmente, pela demonstração de capacidade e busca diária de contribuições para superação de desafios na realidade do saneamento básico brasileiro.

## RESUMO

As bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí possuem um território de 15.304 Km<sup>2</sup>, cerca de 5,2 milhões de habitantes, 7% do Produto Interno Bruto Nacional. No entanto, a escassez dos recursos hídricos ameaça toda essa prosperidade. Os usos da água têm gerado conflitos em razão de sua multiplicidade e finalidades diversas, as quais demandam quantidades e qualidades diferentes. É diante desse panorama que se torna fundamental o conhecimento do cenário atual do abastecimento de água e a gestão dos resíduos oriundos do processo de tratamento. A mobilização da sociedade, a conscientização dos gestores públicos e o aumento da disponibilidade de recursos financeiros para o setor de saneamento têm proporcionado que os municípios aumentem os seus índices de tratamento de água, através da construção de novas estruturas e inovações tecnológicas, entretanto, tem despertado a atenção para outro foco, a premente necessidade da gestão sistêmica dos resíduos oriundos das estações de tratamento de água, com destaque a geração, tratamento e disposição dos lodos e seus potenciais e efetivos impactos ambientais. Este trabalho procurou diagnosticar a geração sob o aspecto quantitativo dos lodos gerados em 89 ETAs em operação nos 58 municípios paulistas integrantes da UGRHI n.º 5, além de identificar algumas experiências quanto ao gerenciamento. Através de diversos instrumentos metodológicos, como a utilização de questionários de coleta de dados para obtenção de dados primários, a adoção de métodos teóricos, visitas técnicas, o trabalho apresenta e discute as informações acerca da geração atual desses resíduos, as experiências existentes quanto à destinação final e tratamento, além dos desafios que a temática exige a serem enfrentados. Os resultados apontaram que são gerados 9013,20 toneladas de sólidos secos mensais, com destaque a que 70% das ETAs em operação não possuem sistema algum de medição dos lodos. As realidades, frente ao atendimento das legislações vigentes, carência de capacitação e gestão sistêmica dos gestores e operadores sobre a temática bem como a necessidade da integração das políticas setoriais com a operação dos sistemas de abastecimento de água que se demonstraram como grandes os desafios a serem superados.

**Palavras-chave:** Estações de Tratamento de Água, Gestão de Lodos, Bacias PCJ.

## **ABSTRACT**

The basins of Piracicaba, Capivari and Jundiaí has a territory of 15,304 square kilometers, about 5.2 million inhabitants, 7% of gross national product. However, the scarcity of water resources threatens all this prosperity. The uses of water have led to conflicts because of its multiple and diverse purposes, which require different quantities and qualities. It is against this background that becomes fundamental to understand the current situation of water supply and waste management from the treatment process. The mobilization of society, awareness of public officials and increase the availability of financial resources for the sanitation sector have provided the municipalities to increase their rates of water treatment, through the construction of new structures and technological innovations, however, has aroused another focus attention to the urgent need for the systemic management of waste from water treatment plants, especially the generation, treatment and disposal of sludge and its actual and potential environmental impacts. This research has made diagnosis of generation under the quantitative aspect of the sludge generated in the 89 water treatment plants operating in 58 cities, and identify some experiences about the management. Through various methodological tools, such as the use of questionnaires for data collection to obtain primary data, the paper presents and discusses information about the current generation of waste, existing experiences regarding the disposal and treatment, and the challenges issue requires to be addressed. The results pointed that 9013.20 tons of monthly dry solids are generated, with prominence the one that 70% of plants in operation don't possess any of measurement of the muds system. The realities, front to the service of the effective legislations, training lack and the managers systemic administration and operators on the theme as well as the need of the integration of the sectorial politics with the operation of the systems of water supply that are the great challenges to be overcome.

**Keywords:** Water Treatment Plants, Sludge Management, PCJ Basins.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01</b> - Seqüência do tratamento de água convencional, onde RI são resíduos oriundos do decantador e RII do sistema de lavagem dos filtros.....	19
<b>Figura 02</b> - Sedimentação do lodo no decantador da ETA, onde R são os resíduos gerados no decantador.....	20
<b>Figura 03</b> - Principais tipologias utilizadas para o tratamento de água .....	22
<b>Figura 04</b> - Decantadores da ETA em funcionamento no município de Rio Claro - SP.....	23
<b>Figura 05</b> - Decantadores da ETA em funcionamento e no início da limpeza no município de Rio Claro - SP.....	24
<b>Figura 06</b> - Descarga do lodo no decantador na ETA - Rio Claro.....	24
<b>Figura 07</b> - Procedimento de limpeza do lodo acumulado no fundo dos decantadores .....	25
<b>Figura 08</b> - Lagoa de lodo no início do processo de remoção de água - ETA Rio Claro - SP.....	26
<b>Figura 09</b> - Lagoa de lodo após remoção de água - ETA Rio Claro - SP.....	26
<b>Figura 10</b> - Chegada do lodo nos leitos de drenagem - ETA Cardoso - SP.....	27
<b>Figura 11</b> - Vista dos Sólidos e manta geotextil após a “drenagem” junto ao leito - ETA Cardoso - SP.....	28
<b>Figura 12</b> - Localização territorial das Bacias PCJ.....	32
<b>Figura 13</b> - Fluxograma metodológico da fase inicial.....	41
<b>Figura 14</b> - Fluxograma metodológico das análises e conclusões.....	43
<b>Figura 15</b> - Balanço dos questionários, considerando percentualmente o número de questionários enviados e recebidos com base no número de municípios.....	45
<b>Figura 16</b> - Representatividade dos questionários que relaciona percentualmente o número de questionários enviados e recebidos com base na representatividade em termos populacionais dos questionários recebidos.....	45

<b>Figura 17</b> - Cenário de respostas quanto a presença ou ausência de sistemas de dimensionamento da geração dos lodos nas 89 ETAs em operação na área de estudo.....	47
<b>Figura 18</b> - Geração de lodos em ETAs, por sub-bacia, em base seca em Ton. SS/mês.....	58
<b>Figura 19</b> - Representatividade da geração de lodos por sub-bacia em percentual do total gerado.....	59
<b>Figura 20</b> - Cenário da presença ou ausência de algum tipo de sistema de desaguamento de lodos de ETAs, percentualmente as 89 estações em operação nos 58 municípios.....	60
<b>Figura 21</b> - Descritivo das concepções dos sistemas de desaguamento nos sistemas que possuem algum tipo de processo implantado, ou seja, 10 ETAs.....	61
<b>Figura 22</b> - Disposição final dos resíduos gerados nas ETAs, em termos populacionais.....	62
<b>Figura 23</b> - Vista Geral do Sistema de Desaguamento de lodo da ETA Nova Odessa.....	63
<b>Figura 24</b> - Decantadores para o Lodo da ETA em Nova Odessa-SP.....	64
<b>Figura 25</b> - Leitos de secagem do lodo da ETA da ETA em Nova Odessa-SP.....	65
<b>Figura 26</b> - Disposição dos Bags verticais e abertos, sendo utilizados para o desaguamento do lodo na ETA.....	65
<b>Figura 27</b> - Disposição dos Bags verticais e abertos, sendo utilizados para o desaguamento do lodo na ETA.....	66
<b>Figura 28</b> - Leitos de secagem final.....	66
<b>Figura 29</b> - Aparência final do lodo na ETA Nova Odessa - SP.....	67
<b>Figura 30</b> - Bloco cerâmico sem a adição de lodo e a frente com adição de lodo de ETA...	68
<b>Figura 31</b> - Vista Geral da ETL Capim Fino em Piracicaba - São Paulo.....	70
<b>Figura 32</b> - Fluxograma da ETL Capim Fino no município de Piracicaba - SP.....	71
<b>Figura 33</b> - Foto dos Adensadores de Lodo da ETL Capim Fino.....	71
<b>Figura 34</b> - Foto da Centrífuga existente na ETL-Capim Fino.....	71
<b>Figura 35</b> - Esteira de transporte de lodo para o aterro próprio da ETA.....	72

<b>Figura 36</b> - Tanque de Clarificação da ALF da ETA Capim Fino.....	72
<b>Figura 37</b> - Vista geral da ETL das ETAs 3 e 4 em Campinas - SP.....	73
<b>Figura 38</b> - Detalhe do tanque de adensamento da ETL na SANANA/Campinas.....	74
<b>Figura 39</b> - Tanque de adensamento da ETL na SANANA/Campinas..	74
<b>Figura 40</b> - Saída do desaguamento do lodo de ETA.....	75
<b>Figura 41</b> - Transporte via terrestre do lodo desaguado oriundo da ETA para disposição final em aterro sanitário.....	75
<b>Figura 42</b> - Vista parcial do decantador na ETA Rio Claro - SP.....	76
<b>Figura 43</b> - Vista parcial da lagoa de decantação em processo de enchimento.....	77
<b>Figura 44</b> - Vista parcial da lagoa de decantação com material decantador.....	77
<b>Figura 45</b> - Vista geral da secagem do lodo de ETA. ....	78
<b>Figura 46</b> - Detalhe da secagem do lodo de ETA.....	78
<b>Figura 47</b> - Vista geral dos bags instalados na ETA Monte Mor - SP.....	79
<b>Figura 48</b> - Poço de recebimento dos efluentes.....	80
<b>Figura 49</b> - Detalhe da área de drenagem dos Bags.....	80
<b>Figura 50</b> - Lodo de ETA desaguado.....	81
<b>Figura 51</b> - Tanque de decantação do lodo de ETA Itupeva - SP.....	82
<b>Figura 52</b> - Detalhe da saída do efluente sobrenadante que retorno ao tratamento.....	82
<b>Figura 53</b> - Detalhe do local onde está instalado o “bag” para acondicionamento do lodo na ETA em Itupeva - SP.....	83
<b>Figura 54</b> - Canaleta coletora do efluente drenado dos bags.....	83

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01</b> - Variáveis físico-químicas para o lodo em três ETAs.....	11
<b>Tabela 02</b> - Principais Constituintes dos Afluentes de ETAs Convencionais no Brasil.....	11
<b>Tabela 03</b> - Principais Constituintes dos Efluentes de uma ETA - Convencional.....	12
<b>Tabela 04</b> - Principais tecnologias de desaguamento mecânico.....	12
<b>Tabela 05</b> - Sistemas de remoção de água dos lodos em ETAS nos EUA.....	13
<b>Tabela 06</b> - Práticas de disposição de lodos nos EUA em faixas de população.....	14
<b>Tabela 07</b> - Características do lodo de decantador e drenado do Leito de Drenagem.....	29
<b>Tabela 08</b> - Municípios e população urbana inseridos na área de estudo.....	33
<b>Tabela 09</b> - Valores de K <sub>2</sub> .....	39
<b>Tabela 10</b> - Balanço do envio dos questionários.....	44
<b>Tabela 11</b> - Presença ou não de sistema de dimensionamento de geração de lodos.....	46
<b>Tabela 12</b> - Subsídios e características - sub-bacia do Rio Capivari.....	47
<b>Tabela 13</b> - Resultados do cálculo de geração de lodos - massa de sólidos secos precipitada por metro cúbico de água tratada, para o Rio Capivari.....	48
<b>Tabela 14</b> - Subsídios e características - sub-bacia do Baixo Piracicaba.....	48
<b>Tabela 15</b> - Subsídios e características - sub-bacia do Alto Piracicaba.....	49
<b>Tabela 16</b> - Resultados do cálculo de geração de lodos - massa de sólidos secos precipitada por metro cúbico de água tratada, para a região do Baixo Piracicaba.....	49
<b>Tabela 17</b> - Resultados do cálculo de geração de lodos - massa de sólidos secos precipitada por metro cúbico de água tratada, para a região do Alto Piracicaba.....	50
<b>Tabela 18</b> - Subsídios e características - sub-bacia do Rio Jundiá.....	51
<b>Tabela 19</b> - Resultados do cálculo de geração de lodos - massa de sólidos secos precipitada por metro cúbico de água tratada, para a sub-bacia do Rio Jundiá.....	51
<b>Tabela 20</b> - Subsídios e características - região Alto Jaguari.....	52
<b>Tabela 21</b> - Subsídios e características - região do Baixo Jaguari.....	52
<b>Tabela 22</b> - Resultados do cálculo de geração de lodos - massa de sólidos secos precipitada por metro cúbico de água tratada, para a região do Baixo Jaguari.....	53
<b>Tabela 23</b> - Resultados do cálculo de geração de lodos - massa de sólidos secos precipitada por metro cúbico de água tratada, para a região do Alto Jaguari.....	54
<b>Tabela 24</b> - Subsídios e características - sub-bacia do Rio Camanducaia.....	54

<b>Tabela 25</b> - Resultados do cálculo de geração de lodos - massa de sólidos secos precipitada por metro cúbico de água tratada, para a Sub-Bacia do Rio Camanducaia.....	55
<b>Tabela 26</b> - Subsídios e características - sub-bacia do Rio Corumbataí.....	56
<b>Tabela 27</b> - Resultados do cálculo de geração de lodos - massa de sólidos secos precipitada por metro cúbico de água tratada, para a Sub-Bacia do Rio Corumbataí.....	56
<b>Tabela 28</b> - Subsídios e características - sub-bacia do Rio Atibaia.....	57
<b>Tabela 29</b> - Resultados do cálculo de geração de lodos - massa de sólidos secos precipitada por metro cúbico de água tratada, para a Sub-Bacia do Rio Atibaia.....	57
<b>Tabela 30</b> - Resumo da geração quantitativa de lodos de ETAs na área de estudo.....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileiro de Normas Técnicas
<b>AFEE</b>	Association Francaise Pour L'etude Des Eaux
<b>ALF</b>	Água de lavagem dos filtros em ETAs
<b>AWWA</b>	American Water Work Association
<b>CADRI</b>	Certificado de Movimentação de Resíduos de Interesse Ambiental
<b>CETESB</b>	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional de Meio Ambiente
<b>DBO</b>	Demanda Bioquímica de Oxigênio
<b>DECiv</b>	Departamento de Engenharia Civil (UFSCar)
<b>DQO</b>	Demanda Química de Oxigênio
<b>EIA</b>	Estudo de Impacto Ambiental
<b>ETA</b>	Estação de Tratamento de Água
<b>ETE</b>	Estação de Tratamento de Efluentes Domésticos
<b>ETL</b>	Estação de Tratamento de Lodos
<b>FINEP</b>	Financiadora de Estudos e Projetos
<b>FUNASA</b>	Fundação Nacional de Saúde
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>IPT</b>	Instituto de Pesquisas Tecnológicas - SP
<b>IQA</b>	Índice de Qualidade das Águas - CETESB
<b>NBR</b>	Denominação de Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>PCJ</b>	Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá
<b>pH</b>	Potencial Hidrogeniônico
<b>PIB</b>	Produto Interno Bruto
<b>PROSAB</b>	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
<b>RIMA</b>	Relatório de Impacto Ambiental
<b>SABESP</b>	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
<b>SANASA</b>	Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento - Campinas -SP
<b>SEADE</b>	Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados - SP
<b>SEMAE</b>	Serviço Municipal de Água e Esgotos de Piracicaba-SP
<b>UFES</b>	Universidade Federal do Espírito Santo

<b>UGRHI</b>	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
<b>UNICAMP</b>	Universidade Estadual de Campinas - SP
<b>USP</b>	Universidade de São Paulo
<b>WCR</b>	Water Research Center

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	4
2.1. Objetivo geral .....	4
2.2. Objetivos específicos .....	4
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
3.1. Resíduos Sólidos nas Estações de Tratamento de Água .....	4
3.1.1. Principais características dos lodos oriundos das ETAs .....	7
3.1.2. Caracterização físico-química típica do lodo de ETA .....	9
3.1.3. Tratamento do lodo .....	12
3.1.4. Alternativas utilizadas para a destinação final dos lodos das ETAs.....	14
3.1.5. Legislação e Impactos Gerados através dos Resíduos de ETAs.....	17
3.2. Tratamento de Água.....	19
3.3. Algumas Experiências no Brasil relacionadas aos Resíduos de ETAs.....	22
3.4. Análise Crítica da Bibliografia Consultada.....	30
<b>4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	31
4.1. Contextualização e Definição de área de estudo .....	31
4.2. Questionário para coleta de dados primários.....	35
4.3. Identificação dos contatos dos gestores responsáveis.....	36
4.4. Aplicação e Envio dos questionários .....	36
4.5. Recebimento e esclarecimentos quanto aos questionários .....	37
4.6. Sistematização dos dados coletados e banco de informações.....	37
4.7. Premissas estabelecidas e cálculo teórico de geração dos resíduos.....	37
4.8. Análises, discussões e conclusões.....	41
4.9. Divulgação dos resultados do trabalho de pesquisa .....	41
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	43
5.1. Resultados da coleta de dados primários.....	44
5.2. Resultados e discussões quanto a geração dos resíduos nas ETAs.....	46
5.3. Tratamento e disposição final dos lodos gerados nas ETAs da área de estudo.....	59
5.3.1. Desaguamento/Tratamento dos lodos gerados .....	59
5.3.2. Disposição final dos lodos gerados.....	61
5.4. Identificação de Experiências nas Bacias PCJ.....	61
5.4.1. A Experiência de Nova Odessa-SP .....	62
5.4.2. Estação de Tratamento de Lodo da ETA Capim Fino - Piracicaba .....	69
5.4.3. Estação de Tratamento de Lodo da ETA 3 e 4 - SANASA - Campinas ...	73
5.4.4. A experiência da ETA Rio Claro-SP .....	76
5.4.5. A Experiência da SABESP na ETA Monte Mor-SP.....	79
5.4.6. A Experiência da SABESP na ETA SÃO JOSÉ em Itupeva-SP.....	81
5.5. Análise Crítica dos Resultados Obtidos.....	84



<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>86</b>
<b>7. RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>87</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO I - Formulário para Coleta de Dados.....</b>	<b>96</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Desde os primeiros registros da presença do homem no planeta Terra, verifica-se que a água é de fundamental importância para a sobrevivência da humanidade, com destaque ao atendimento das necessidades de fornecer suprimentos para as atividades industriais, agrícolas e ligadas as necessidades humanas.

Tal preocupação vem, através dos séculos, acompanhando as civilizações. Após o século XX, apesar de sensível evolução tecnológica no setor, ainda registram-se graves problemas com a coleta, tratamento, armazenamento e distribuição de água.

Existiu o período em que nem os representantes da nobreza possuíam sanitários em suas habitações. Era comum, as pessoas lançarem seus resíduos diretamente no solo. Com as chuvas ocorriam às contaminações dos rios e a conseqüente disseminação de doenças. Segundo Tundisi (2008), consta que os egípcios depuravam a água através do processo da capilaridade.

No século XVIII, com o início do desenvolvimento industrial, intensificou-se o êxodo rural, com a conseqüente diminuição das condições de higiene e qualidade de vida. Posteriormente a Inglaterra liderou na Europa uma grande reforma sanitária, tendo como base o afastamento do esgoto através de canalizações. Como tal mecanismo solucionava parcialmente a situação, já que o lançamento, direto nos cursos d'água, proliferava a transmissão das doenças. Passou-se então a pensar, com mais veemência na necessidade do tratamento do esgoto.

Segundo Tundisi (2008) o Brasil, apesar de deter 14% da água do planeta, possui, uma distribuição desigual de volume e disponibilidade de recursos hídricos. Enquanto um habitante do estado do Amazonas tem disponível 700.000 m<sup>3</sup> de água por ano, na Região Metropolitana de São Paulo o número é de 280 m<sup>3</sup> de água por ano. As Organizações das Nações Unidas - ONU indicam que regiões hidrográficas com disponibilidade hídrica abaixo de 1500 m<sup>3</sup>/habitante/ano são consideradas críticas. A área de estudo desse trabalho, as bacias PCJ, possuem durante o período de estiagem disponibilidade aproximada de 410 m<sup>3</sup>/habitante/ano.

Cabe destacar que esses cenários trazem inúmeras dificuldades econômicas e sociais, especialmente levando-se em conta a disponibilidade/demanda e qualidade da saúde humana na periferia das grandes regiões metropolitanas do Brasil, constituindo em um dos grandes problemas ambientais da realidade brasileira. Portanto, a agenda da universalização

do saneamento básico, a recuperação de infra-estrutura e de mananciais, deve ser encarada como prioritária no país.

Segundo Irrigart (2007), as Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, área de estudo dessa pesquisa, situam-se, em sua maior parte, no Estado de São Paulo (58 municípios) e abrangem também uma parte do sul do Estado de Minas Gerais (4 municípios). Trata-se de uma região de grande desenvolvimento econômico onde existem muitos conflitos pelo uso da água. Cabe destacar que segundo a Lei Estadual Paulista n.º 7663/91, os municípios paulistas objeto do estudo do trabalho estão inserido na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI n.º 5.

A produção de água durante a estiagem fica em situação crítica para o abastecimento público das cidades. Adicionalmente a essa demanda há também a reversão de 31 m<sup>3</sup>/s pelo Sistema Cantareira, para o abastecimento de aproximadamente 50% da população da Região Metropolitana de São Paulo, ou seja, abastecem 9 milhões de habitantes naquela região, que se somam aos 5 milhões de pessoas que se abastecem nas Bacias PCJ.

A atividade industrial é intensa, sendo um dos mais importantes núcleos industriais do Estado depois da região da Grande São Paulo. Irrigart (2007) estima que 7% do Produto Interno Bruto Nacional seja gerado na região, cuja demanda de água é de cerca de 15 m<sup>3</sup>/s para consumo industrial, 9 m<sup>3</sup>/s para irrigação e 17 m<sup>3</sup>/s para consumo humano.

Cobrape (2010) apresenta que as cidades da região coletam 85% dos efluentes domésticos gerados e tratam, em média, 50% dos efluentes, sendo que as indústrias removem 92% das cargas industriais orgânicas. O índice de atendimento ligado ao fornecimento de água tratada é de 95%.

Com as iniciativas e incremento de investimentos nos últimos anos, as bacias PCJ passaram a vivenciar o incremento de novas estações de tratamento de água e esgotos e fortes investimentos no controle das perdas hídricas.

Dados levantados por Cordeiro (2001) apontaram a existência de um número aproximado de 7.500 estações de tratamento de água em funcionamento no Brasil, sendo que informações fornecidas pelo Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (2010) apontam a existência de cerca de 100 estações na área de abrangência do estudo.

Com a promulgação da Lei Federal 11.445/2007 que instituiu a Política Nacional de Saneamento Básico, diversas foram as novidades e exigências para o setor, com destaque a obrigatoriedade da existência do plano municipal de saneamento básico envolvendo a

elaboração participativa, a gestão integrada do esgotamento sanitários, do abastecimento de água, da drenagem urbana e dos resíduos sólidos.

A Lei Nacional de Saneamento ainda trouxe a regulação do setor de saneamento, fato que no Brasil é uma novidade e que exige dos gestores municipais, planejamento, procedimentos através de regulamentos, tarifas reais, além da gestão dos sistemas de abastecimento de água de forma com visão sistêmica do processo, portanto desde a captação nos mananciais até a destinação final dos resíduos gerados.

Dentre as novidades legais, destaca-se também o marco legal através da Lei 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, trazendo diversos instrumentos, com destaque os princípios da logística reversa, a distinção entre resíduos e rejeitos, além do estabelecimento de hierarquia quanto ao gerenciamento, privilegiando a redução, o reaproveitamento e a reciclagem.

Cordeiro (1999) aponta que a indústria da água de abastecimento quando utilizado o tratamento, transforma água inadequada para o consumo humano e um produto que esteja de acordo com os padrões de potabilidade, utilizando para isso, processos e operações com a introdução de produtos químicos, com destaque aos sais de ferro e de alumínio, cal, cloro, polímeros, gerando resíduos.

Tsutiya (2001) apresenta que no Brasil, os lodos de ETAs são dispostos, com grande frequência, sem nenhum tratamento em cursos de água próximos às estações de tratamento. Entretanto, nesses últimos anos, tal prática tem sido bastante questionada, devido aos possíveis riscos à saúde pública e à vida aquática.

Nesse sentido, vários questionamentos sobre as características, produção e impactos ambientais dos resíduos gerados por esses processos ainda não possuem respostas satisfatórias que possibilitem o completo equacionamento do problema.

Ainda segundo Cordeiro (1999), tais fatos se devem a grande carência de pesquisas científicas e tecnológicas sobre o tema e a não centralização dos dados, ficando dispersos os poucos dados existentes no Brasil.

Considerando a premência da necessidade de se diagnosticar as formas do gerenciamento dos lodos das estações de tratamento de água e as experiências existentes, a escolha do tema para estudo apresenta uma importância de ordem teórica, através do conhecimento específico da realidade local e regional, e outra, que lhe é correlata, de ordem prática. Esta última, especialmente, proporcionará o fomento e incentivo a novas ações, o intercâmbio de experiências, o aperfeiçoamento das ações já existentes na região e a busca por soluções regionais para os desafios na área de estudo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho foi elaborar diagnóstico das condições técnicas e gerenciais dos resíduos gerados nas estações de tratamento de água nos 58 municípios paulistas inseridos nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.

### **2.2. Objetivos específicos**

Este trabalho teve como objetivos específicos:

- Identificar as experiências existentes em relação ao gerenciamento dos lodos gerados nas ETAs;
- Realizar levantamento das informações acerca da geração quantitativa com data base 2010 dos resíduos provenientes das ETAs;
- Identificar as formas de tratamento e destinação final predominantes;

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1. Resíduos Sólidos nas Estações de Tratamento de Água**

Conceitualmente, os resíduos sólidos são definidos através da norma ABNT NBR 10.004/2004 como “Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

De ponto de vista semelhante à NBR 10.004/2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, através de Lei Federal 12.305/2010 conceitua resíduos sólidos como sendo “material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a

proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.”

Observando as diversas bibliografias consultadas, é possível observar, numa visão histórica, que a gestão dos sistemas de abastecimento de água desconsiderava o fato de gerarem resíduos, ou seja, a visão gerencial era limitada, se atendo apenas ao produto final a ser distribuído à população, ou seja, a água tratada ou apenas transportada.

Evidencia-se que este é o objetivo do tratamento, porém, uma visão gerencial abrangente não se abstém aos produtos indesejáveis gerados, mas além de os destacarem na planta do projeto, busca formas de poupar o meio ambiente ao passo que estuda maneiras de se beneficiar através destes resíduos.

Segundo o Colorado Department of Public Health and Environment (CDPHE, 2003), “lodo de estação de tratamento de água ou lodo de tratamento de água é o sólido acumulado resultante do processamento da água bruta em uma estação de tratamento”.

Godbold et al. (2003), por sua vez, definiram o lodo como sendo todo resíduo proveniente do tratamento para produzir água potável a partir da água bruta. Segundo o autor, o termo resíduo sólido é mais adequado do que lodo, porque o segundo tende a possuir uma conotação negativa quando considerado para aplicações de reúso. Este resíduo é composto basicamente de impurezas removidas e precipitadas da água em conjunto com os produtos químicos de tratamento utilizados e subprodutos gerados.

Richter (2001) considera que lodo de estação de tratamento de água é o resíduo constituído de água e sólidos em suspensão originalmente contidos na fonte de abastecimento, acrescidos de produtos resultantes dos reagentes aplicados à água nos processos de tratamento, bem como suas impurezas.

Sarabia (2001) define lodos de ETA como sendo materiais que são removidos da água bruta, tais como: argila, substâncias húmicas, microrganismos e produtos usados na coagulação química. Ele contém entre 93,0 e 99,5% de água, assim como sólidos inicialmente presentes na água ou gerados durante o tratamento.

Cordeiro (2001) apresenta que o lodo de ETA é constituído principalmente por substâncias químicas inorgânicas usadas na coagulação ou floculação, e partículas presentes na água bruta, como partículas do solo e material orgânico carregado, sendo gerado nos decantadores e filtros. Nos decantadores o lodo possui maior concentração de sólidos, devido

às questões operacionais e de projeto. Esse lodo oriundo dos decantadores caracteriza-se por possuir grande umidade, maior que 95 %, estando, geralmente, sob a forma fluida.

Segundo Albrecht (1972) o lodo de ETA é uma substância não-newtoniana, extremamente gelatinosa e tão compressível que resiste à passagem de água através dele, devido à estrutura de formação dos flocos durante o processo de coagulação-floculação.

Cabe destacar que diversos autores estabelecem conceitos similares para os resíduos gerados nas ETAs, porém, analisando os diferentes pontos de vistas dos autores, as definições apresentadas são em geral mais adequadas para os lodos provenientes das etapas de coagulação, floculação e decantação.

Segundo O'Connor (1971) os resíduos oriundos de ETAs, em ordem de abundância, são classificados como:

a) Resíduos de coagulação química: além dos hidróxidos do sal utilizado na coagulação, o lodo contém material particulado orgânico e inorgânico. Na ausência de contaminação da fonte de água bruta, a fração orgânica é pequena, sendo por esta razão estável e não putrescível. Conseqüentemente, ele pode ficar acumulado no decantador por um longo período de tempo que varia de dias a meses. A maior parcela do lodo é composta por material inorgânico como areias finas, silte e argila.

b) Resíduos do abrandamento por precipitação química: é constituído, freqüentemente, por: carbonato de cálcio, hidróxido de magnésio e cal. Devido à fraca característica de sedimentação da fração coloidal o abrandamento, normalmente é seguido de coagulação.

c) Água de lavagem dos filtros: toda estação de tratamento de água que utiliza filtração em meio granular, produz uma grande quantidade de água de lavagem com baixa concentração de sólidos, devido à operação de limpeza dos filtros. O volume de água usado na lavagem dos filtros de uma ETA é elevado devido à taxa de lavagem que pode variar entre 10 e 20 vezes do valor da taxa de filtração. Tal volume gasto na operação de limpeza dos filtros varia de 2 a 3% do total de água filtrada. O teor de sólidos na água de lavagem reflete a eficiência do pré-tratamento, enquanto que a composição dos mesmos normalmente é semelhante a dos sólidos produzidos em outras unidades de tratamento. Do total de lodo produzido em uma ETA a parcela oriunda dos filtros fica compreendida entre 30 e 40%.

d) Resíduos da pré-sedimentação da água bruta: O material sedimentado geralmente pode ser composto por areias, siltes, argilas e detritos orgânicos de origem vegetal. Estes sólidos podem ficar acumulados por meses ou anos no fundo dos pré-sedimentadores e, subseqüentemente, serem removidos por drenagem.

e) Resíduos do uso de auxiliares de coagulação: Embora seja de grande eficiência o emprego de polímeros orgânicos no tratamento, o custo deste material faz com que ele seja utilizado apenas como auxiliar de coagulação. Areias (bentonita) e sílica ativada, além dos polímeros, podem ser adicionadas em algumas águas para atuarem como partículas de cargas negativas e aumentarem a densidade do lodo.

### **3.1.1. Principais características dos lodos oriundos das ETAs**

O lodo é resistente ao adensamento, principalmente quando a água bruta possui baixa turbidez. Pode ter em sua composição hidróxidos de alumínio, partículas inorgânicas como argila e areia, colóides de cor e microrganismos, incluindo plâncton e outros materiais, orgânicos e inorgânicos, removidos da água que está sendo tratada. Pode ser composto por sedimentos dos clarificadores, lavagem de filtros, lodo da recuperação da água de lavagem ou uma combinação desses elementos.

Cabe ressaltar que a qualidade da água bruta é profundamente afetada pelas variações sazonais, no período de estiagem ocorre uma diminuição na quantidade de material orgânico e na época de chuvas acontece o contrário, conforme apontado por Yuzhu (1996).

De acordo com Fulton (1974), isto ocorre, pois no período mais úmido do ano, época de chuvas, o material por ela carregado juntamente com água subterrânea e contribuições superficiais, podem alterar não somente os sólidos em suspensão, mas também o índice mineral do corpo d'água, alterando assim, as características dos resíduos gerados nas estações de tratamento de água.

Segundo Cordeiro (2001), geralmente, os resíduos em questão apresentam um baixo conteúdo de sólidos, da ordem de 3.000 a 15.000 mg/L. Os sólidos suspensos representam de 75% a 90% dos sólidos totais, enquanto os sólidos voláteis totais representam de 20% a 35%. O lodo é prontamente sedimentável, porém em uma concentração inadequada ao manuseio conveniente e à disposição subsequente em aterro, pois se considera para tal situação uma concentração mínima de sólidos totais de 20%. Seu pH varia de 5 a 7, sendo insolúvel na faixa natural de pH da água. O nível de  $\text{DBO}_5$  geralmente é da ordem de 30 a 100 mg/L. Uma alta DQO correspondente, de 500 a 10.000 mg/L, mostra que, embora o lodo seja pouco biodegradável, ele é prontamente oxidável.

O lodo formado no processo de abrandamento por cal é constituído principalmente de carbonato de cálcio e praticamente é isento de matéria orgânica. Sua composição inclui 75% de  $\text{CaCO}_3$ , 6% de sílica como  $\text{SiO}_2$ , 7% de carbono total, 3% de alumínio como  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e 2 %



de magnésio como MgO (RICHTER, 2001). A composição, a massa e o volume variam com a dureza removida e outras características físico-químicas da água bruta.

Com relação à água de lavagem dos filtros, Barbosa (2000) afirmou que a quantidade e a composição deste resíduo decorrem da eficiência da operação de filtração e dos processos das unidades de tratamento que a precedem. O autor citou ainda que os principais constituintes deste tipo de efluente são: partículas finas, hidróxidos complexos de alumínio e ferro, plâncton, matéria orgânica, água e subprodutos gerados no processo de coagulação, além de impurezas contidas nos produtos químicos aplicados.

De acordo com Grandin (1992), os resíduos gerados são essencialmente provenientes das lavagens dos filtros e descargas dos decantadores, sendo que floculadores e tanques de preparo de soluções e suspensões de produtos químicos produzem lodos por ocasião das lavagens periódicas, porém em volumes não significativos.

Cordeiro (2001) cita Hsieh; Raghu (1997) para classificar a água presente nos resíduos de ETAs, classificação esta que está de acordo com a apresentada por Cornwell (1997):

- Água livre - parcela de água que se move livremente por gravidade. Essa água pode ser removida com relativa facilidade por meio de sistemas mecânicos ou, naturalmente, por drenabilidade. Também poderá ser utilizada a evaporação.
- Água do floco - essa parcela está intimamente ligada à partícula floculada. Para remoção dessa parcela é necessária uma quantidade elevada de energia.
- Água capilar - a água capilar está fortemente ligada à partícula sólida por intermédio de pontes de hidrogênio. A diferença entre esta parcela e a do floco é que esta está livre para se mover, enquanto a capilar se move com a partícula. Assim, para a remoção dessa parcela há a necessidade de aplicação de força mecânica, se o floco for quebrado.
- Água adsorvida - parcela ligada quimicamente à partícula sólida coloidal. A remoção dessa água só será possível com aplicação de altas temperaturas ou com aplicação de elevada quantidade de energia elétrica.

Cordeiro (1999) afirma que a determinação desses parâmetros é condição fundamental para o equacionamento da questão dos lodos, seja para definição de condições de lançamento, destinação final ou para projetos de sistemas de remoção de água.

### 3.1.2. Caracterização físico-química típica do lodo de ETA

Para Cordeiro (2001), o sistema de remoção dos lodos dos decantadores ou flotadores é responsável por parte das características finais dos mesmos, principalmente no que se refere à concentração de partículas.

As características tradicionais do saneamento ambiental são fundamentais na definição estrutural dos rejeitos de ETAs, no entanto devem ser inseridos parâmetros não tradicionais que permitam visão mais abrangente do resíduo. Assim, os valores de sólidos, DQO, metais e pH devem ser determinados. Além deles, deverão ser avaliados a resistência específica, o tamanho das partículas e as estruturas dos sólidos no lodo, a fim de permitir a tomada de decisões na forma de remoção de água dos rejeitos.

As características dos resíduos podem ser divididas em função de sua importância e do objetivo do estudo. Assim pode-se classificar as características em:

- Ambientais: para que as questões ambientais sejam analisadas, principalmente quanto à disposição, os seguintes parâmetros são importantes: pH, sólidos, metais, DQO, biodegradabilidade, toxicidade, presença de pesticidas e fertilizantes, compostos orgânicos voláteis, entre outros.

- Geotécnicas: esta caracterização é necessária para evidenciar possíveis formas de remoção de água e de futuras utilizações para os sólidos resultantes. Alguns desses parâmetros são: tamanho e distribuição das partículas, limite de plasticidade e limite de liquidez, resistência específica, respostas ao aquecimento e resfriamento e sedimentabilidade.

A determinação desses parâmetros é condição fundamental para o equacionamento da questão dos lodos, seja para definição de condições de lançamento, seja para projetos de sistemas de remoção de água.

De acordo com Sengupta & Shi (1992), as alterações das condições naturais do ambiente aquático, do solo e dos organismos que habitam os corpos receptores de resíduos produzidos em ETAs ainda não são suficientemente conhecidas. Citam certas pesquisas em que se verificou a toxicidade de espécies livres e complexadas de alumínio em peixes e outros organismos, mostrando que essas espécies têm a capacidade de se acumular em certos órgãos de animais, inclusive o homem, com a comprovação de o elemento ser um precursor do mal de Alzheimer.

Reiber *et al.* (1995) questionam a biodisponibilidade e a probabilidade de o alumínio presente na água potável ser mais facilmente assimilado do que outras formas do

elemento, baseando-se em conceitos de solubilidade e de prováveis transformações químicas que ocorrem no interior do corpo humano.

Ressalte-se que o sulfato de alumínio, largamente utilizado nos sistemas brasileiros de tratamento de água no Brasil, é menos solúvel que outros sais e os hidróxidos de alumínio são tidos como insolúveis.

Cordeiro (1999) aborda a questão dos impactos dos resíduos de ETAs, citando estudos de impactos físicos, químicos e biológicos em rios, toxicidade do alumínio em peixes e sua influência no corpo humano, ressaltando, porém, que a abundância do elemento no mundo dificulta a determinação precisa dos efeitos prejudiciais decorrentes de tal prática de descarte.

Como as hipóteses apresentadas até o momento são contraditórias, são necessários estudos complementares para um conhecimento mais detalhado das interações e influências do elemento no ambiente e nos organismos vivos.

Na Tabela 01, Cordeiro (2001) apresenta alguns valores de parâmetros em três ETAs. Dentre eles estão: pH, DQO, sólidos e metais de lodos gerados em ETAs situadas no centro do Estado de São Paulo. É preciso lembrar que esses valores representam dados pontuais que expressam as condições no momento da coleta. No entanto, pode-se perceber que há variabilidade, principalmente quanto à operação de limpeza dos decantadores.

Segundo Cordeiro (2001), as três estações estudadas diferenciam-se por meio do sistema operacional. Na ETA de Araraquara, o lodo é removido até três vezes ao dia, não sofrendo acúmulo nos tanques. Já as ETAs de São Carlos e de Rio Claro efetuam a limpeza tradicional dos decantadores, realizada somente quando há a saturação do sistema de tratamento. As concentrações de metais são mais elevadas nos sistemas que efetuam limpezas em grandes intervalos de tempo, como as de São Carlos e de Rio Claro, evidenciando o prejuízo que o acúmulo de lodos nos tanques de decantação pode acarretar quando descartados.

Tabela 01 - Variáveis físico-químicas para o lodo em três ETAs

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

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

Fonte: Cordeiro (2001)

No Brasil as preocupações maiores têm sido efetivadas através de estudos que enfocam, principalmente, a qualidade do produto final da ETA, existindo poucos estudos específicos que analisem a quantidade dos resíduos gerados, sua caracterização, os aspectos relativos ao provável impacto ambiental e métodos de tratamento e disposição.

Tabela 02 - Principais Constituintes dos Afluentes de ETAs Convencionais no Brasil

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 filtração (polímeros, sílica ativada, etc.)	Polímeros naturais ou sintéticos, monômeros não sintetizados no processo de produção, sílica, alumínio, etc.

Fonte: Cordeiro (2001)

Tabela 03 - Principais Constituintes dos Efluentes de uma ETA - Convencional

<b>Efluentes</b>	<b>Principais Constituintes</b>
Água Tratada	Água + parcela de subprodutos de reação de produtos químicos e material presente na água bruta, parcela de material em solução e suspensão. Os padrões devem estar de acordo com a Portaria 518/04
Lodo Sedimentado dos Decantadores	Matéria orgânica suspensa na água, carbonato de cálcio, hidróxido de magnésio, hidróxidos complexos de alumínio ou ferra, 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 de Tanques	Água, cal, sulfato de alumínio, polietetrólitos + impurezas contidas nos produtos preparados.

Fonte: Cordeiro (2001)

### 3.1.3. Tratamento do lodo

O tratamento do lodo é feito com o objetivo de minimizar os impactos ambientais e permitir uma disposição final adequada e econômica (YUZHU, 1996). Consiste, basicamente, no adensamento, condicionamento e desaguamento ou desidratação do lodo.

A prática mais eficiente para a redução do conteúdo de água no lodo é o adensamento seguido de desidratação natural ou mecânica e, como etapa final, o processo térmico (YUZHU,1996).

Tabela 04 - Principais tecnologias de desaguamento mecânico

<b>Técnica</b>	<b>Aplicações</b>	<b>Limitações</b>	<b>Custo Relativo</b>
Prensa desaguadora (Filtro prensa de esteiras)	Capaz de obter um lodo relativamente seco, com 40-50% de sólidos secos. Lodo de alumínio ou ferro 15 a 20%	Sua eficiência é muito sensível às características da suspensão. As correias podem se deteriorar rapidamente na presença de material abrasivo	Baixo
Decantação centrífuga	Capaz de obter um lodo desidratado com 15-35% de sólidos. Lodo de alumínio ou ferro 16-18%. Lodos de cal desidratam mais facilmente. Taxa de captura de sólidos entre 90-98%. Adequada para áreas com limitação de espaço	Não tão efetiva na desidratação como a filtração. O tambor está sujeito à abrasão	Médio

Filtro prensa	Usado para desidratar sedimentos finos. Capaz de obter torta com 40-45% de sólidos em lodo de cal, com uma taxa de captura de até 98%	Necessita a aplicação de cinza e cal. Elevação do pH a 11,5. Troca do meio filtrante demorada. Elevado custo operacional e de energia	Alto
Filtro rotativo à vácuo	Mais indicado para desidratar sedimentos finos granulares, podendo obter torta de até 35-40% de sólidos e uma taxa de captura de 88 a 95%	É o método menos eficaz de filtração. Elevado consumo de energia	Mais alto

Fonte: adaptado RICHTER (2001)

Em estudo realizado em 469 estações de tratamento de água nos EUA por Murray & Dillon (1994), fica evidenciado o elevado número de plantas que possuem algum tipo de sistema de tratamento (remoção de água dos lodos), porém cabe destacar que a aplicabilidade na realidade brasileira, ou na área de estudo, deve levar em consideração quanto à gestão dos resíduos, que a legislação americana possui parâmetros mais restritivos e, que nos aspectos tecnológico e de replicabilidade dos tipos de sistemas, o fator climático exerce elevado nível de influência na eficiência.

A Tabela 05 apresenta o cenário existente no EUA em 1994.

Tabela 05 - Sistemas de remoção de água dos lodos em ETAs nos EUA

<b>Tipos de Sistemas</b>	<b>Número de Plantas</b>	<b>% entre 469 ETAs</b>
Adensamento em lagoas	318	67,8
Reciclagem do lodo	68	14,5
Adensamento por gravidade	61	13
Aquecimento-degelo	55	11,7
Leitos de secagem	47	10
Filtros-prensa	20	4,3
Centrifugação	12	2,6
Filtro a vácuo	4	0,9
Recuperação de cal	1	0,2
Recuperação de sulfato	1	0,2
Outro	71	15,1

Fonte: Murray & Dillon (1994)

### 3.1.4. Alternativas utilizadas para a destinação final dos lodos das ETAs

Segundo Filho (2009), a maioria das estações de tratamento de água brasileiras lança os seus resíduos sólidos nos corpos d'água mais próximos ou na rede de águas pluviais, sem nenhum tratamento, favorecendo o aumento do grau de poluição e contribuindo para uma crescente degradação do meio ambiente. Isto ocasiona aumento na quantidade de sólidos nos corpos d'água, assoreamento indesejável, mudanças de cor, turbidez e alterações em termos de composição química e DQO.

Em levantamento feito nos Estados Unidos, sobre a forma como os resíduos do tratamento de água estavam sendo dispostos, mostrou que 25% das ETAs optavam pela disposição no solo, 24% pela descarga no sistema público de esgoto, 20% pela disposição em aterro sanitário público, 13% enviavam seus lodos para aterros exclusivos, 11% ainda continuavam a fazer o descarte em corpos d'água, e o restante optava por outras formas de disposição, ou reuso benéfico, segundo Cornwell et al., (1987).

A atenção à questão da geração, lançamento e disposição de resíduos de ETAs teve início nos Estados Unidos, a partir de 1930. Todavia, ainda não se dispunham de técnicas ou procedimentos que permitissem soluções definitivas ou restrições bem definidas (Cordeiro, 1993).

A forma de disposição dos resíduos gerados na ETAs nos EUA também foi estudada por Murray & Dillon (1994), que utilizou 571 ETAs durante os anos de 1991 e 1993. A tabela 02 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 06 - Práticas de disposição de lodos nos EUA em faixas de população (em milhares)

<b>Prática de Disposição</b>	<b>10 a 25</b>	<b>25 a 50</b>	<b>20 a 100</b>	<b>Acima de 100</b>
Aplicação no solo	37,8	20,2	24,1	20,7
Descarga em sistemas de esgotos sanitários	20,5	32,1	25,5	20,7
Aterro sanitário (público e próprios)	33,8	45,9	36,1	43,6
Descarga direta em cursos d'água	13,4	11,9	15,7	14,1
Outras práticas	6,3	4,5	7,4	10,6

Fonte: adaptado de Murray & Dillon (1994).

Cornwell et al. (1987) afirmaram que quando o resíduo sólido de uma ETA é lançado num corpo receptor que apresenta baixa turbulência, há uma tendência de se formar bancos de lodo nas proximidades do ponto de descarga. Embora os autores tenham afirmado que até então não existiam muitas publicações sobre os impactos deste depósito de lodo sobre a comunidade bentônica, eles apontaram ser provável que os ecossistemas próximos a estas

formações fossem afetados. Esta situação poderia criar condições anaeróbias, resultar na solubilização de metais contidos no lodo, causar redução de pH, liberar odores e reduzir o oxigênio disponível imprescindível para a vida aquática.

Segundo Cordeiro et al. (2002), no Brasil, pouca experiência existe em relação aos resíduos gerados em decantadores de ETAs convencionais ou completas. Isto indica que o impacto provocado pelo lançamento desse rejeito em cursos d'água é relativamente desconhecido. Mesmo sem o conhecimento necessário dos impactos causados por este lançamento, estima-se que cerca de 2.000 toneladas de sólidos são lançados diariamente em coleções de água brasileiras sem nenhum tratamento.

Isaac & Morita (2004) apresentam pesquisa realizada com ETAs francesas a respeito da destinação dos seus resíduos, que em elevado número de ETAs exigia a realização de tratamento dos lodos (desaguamento) anterior a disposição final, 30% lançavam no sistema público de esgoto, 13% realização disposição em aterros sanitários, 6% aplicavam no solo, e a grande maioria, ou seja 51 %, possuíam outras formas de disposição, tais como compostagem, construção de diques e incorporação em materiais de construção civil.

Já no Reino Unido foi feito levantamento junto às concessionárias de abastecimento de água, para se saber qual o meio de disposição de lodo estava sendo utilizado, considerando que em elevado número de ETAs exigia-se a realização de tratamento dos lodos (desaguamento) anterior a disposição final. Daquele levantamento pôde-se verificar que 52% dos lodos eram dispostos em aterros sanitários, 29% das ETAs dispunham no sistema de esgoto, 6% mandaram seus resíduos para aterros exclusivos. O restante praticava lançamento em corpo d'água, disposição e aplicação no solo, recuperação de áreas degradadas ou incorporação em materiais de construção (SIMPSON et al., 2002).

Por fim pode-se citar como os principais usos benéficos, ou disposição final do lodo, nos dias de hoje os aterros sanitário e exclusivo, descarga no sistema de esgoto, indústrias cerâmicas e da construção civil, agricultura, disposição no solo, recuperação de áreas degradadas e reflorestamento.

Para Reali (1999), o lodo gerado nas ETAs encontra-se, normalmente, bastante diluído, necessitando ser submetido a operações que visem a sua concentração, a remoção de parcela de água presente no lodo, antes da destinação final.

Os resíduos gerados nas ETAs têm sido dispostos em aterros sanitários ou exclusivos e em áreas de reflorestamento e agrícolas, bem como utilizados para o controle de sulfetos em sistemas de coleta, transporte e tratamento de esgotos, em indústrias de aço ou na construção



civil (AWWA,1990). Há alguns exemplos na literatura em que lodos de ETAs vêm sendo dispostos em fazendas para cultivo de gramíneas (CORNWELL,1994).

No que se refere a destinação final do lodo, de forma consensual, existem algumas opções para serem adotadas, dependendo da análise técnica, econômica e ambiental para cada situação. Dentre as alternativas, destacam-se:

- Disposição em aterros sanitários: para que seja adotada esta opção, quando se tem lodo gerado a partir da coagulação química com sulfato de alumínio, é usualmente recomendável que a torta final tenha concentração de sólidos acima de 25%.
- Co-disposição com biossólidos: o gerenciamento conjunto dos lodos de ETAs e dos biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos pode ser bastante vantajoso do ponto de vista operacional. Essa mistura pode ser disposta diretamente em solos ou utilizada no preparo de compostos fertilizantes. O produto da mistura costuma apresentar menores teores de metais, tomando o produto mais facilmente comercializável.
- Disposição controlada em certos tipos de solos: alternativa possível de ser adotada nos casos em que se comprove a não existência de impactos negativos ao solo receptor dos resíduos gerados na ETA. Há alguns exemplos na literatura, em que lodos de ETAs vêm sendo dispostos em fazendas de cultivo de gramíneas. Quando se tem a presença de alumínio no lodo, sua disposição no solo deve ser cuidadosa, pois o alumínio possuiu grande afinidade de ligação com o fósforo presente no solo, indisponibilizando-o para as plantas.
- Aplicações industriais diversas: como, por exemplo, na fabricação de tijolos ou outros materiais de construção. Diversos outros tipos de aplicações industriais vêm sendo estudados nos anos recentes. As aplicações industriais dependem das características do resíduo da ETA e do material que se pretende produzir, necessitando de estudos de viabilidade técnica e econômica. Outro tipo de aplicação recente que pode apresentar vantagens, em alguns casos, é a utilização dos resíduos sólidos de ETAs na construção de bases de certos tipos de pavimentos.
- Incineração dos resíduos: normalmente, os custos inerentes a essa opção são bastante elevados, além de resultarem na geração de cinzas, as quais também necessitam de disposição final adequada, ou incorporação em algum tipo de produto.
- Lançamento na rede de esgotamento sanitário: prática utilizada em alguns municípios brasileiros. Pode apresentar restrições com destaque as questões hidráulicas ligadas a rede e alteração de eficiência nas ETEs.

Neste contexto, o aterro sanitário apresenta-se como uma alternativa ainda viável para o tratamento e a disposição final de lodos de ETAs no Brasil, devido à disponibilidade de áreas economicamente acessíveis nas cidades de pequeno e médio porte.

### **3.1.5. Legislação e Impactos Gerados através dos Resíduos de ETAs**

Na realidade brasileira, a maioria das ETAs lançam seus resíduos corpos d'água sem tratamento algum. Desde 1972, nos Estados Unidos, com a aprovação das emendas ao National Pollutant Discharge Act (EPA, 2003), considera-se o lodo gerado no tratamento de água como resíduo industrial e, assim, sujeito a restrições legais (RICHTER, 2001).

Os resíduos gerados no tratamento de água contêm materiais removidos durante o processo, junto com qualquer parcela de água que é removida com eles. Estes lodos incluem substância causadora de alterações no corpo hídrico a jusante como elevação da turbidez, da matéria orgânica e inorgânica, presença de algas, bactérias, vírus, material coloidal, assim como sais e compostos químicos, além de outros produtos adicionados no tratamento, conforme discute Montgomery (1985) ao abordar os impactos gerados a jusante dos lançamento dos lodos sem tratamento nos corpos hídricos.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei 9.433/97 estabelece que, o lançamento de resíduos líquidos, sólidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final em corpos d'água, além de outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água, está sujeita à outorga do Poder Público.

A Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981, que dispõe acerca da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) traz a seguinte redação em seu artigo 2º: "...tem por objetivo a preservação, melhoria, e recuperação da qualidade ambiental própria à vida, visando assegurar ao País condições de desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses de segurança nacional e de proteção da dignidade da vida humana". A Lei também define como poluidor a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental.

No Estado de São Paulo, a Lei n.º 997/76 e seus decretos regulamentadores, 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.

O lançamento dos resíduos gerados em ETAs, em corpos d'água, pode ser considerado crime ambiental, de acordo com a Lei 9.605/98, devido aos efeitos diretos causados ao ambiente aquático do corpo receptor e danos à fauna aquática. Em seu Capítulo V - "Dos

Crimes Contra o Meio Ambiente”, na Seção III - “Da Poluição e outros Crimes Ambientais”, no artigo 54, rege que se constitui crime: “Causar poluição de qualquer natureza que resultem ou possam resultar danos à saúde humana, ou que provoque a morte de animais ou a destruição significativa da flora.” No parágrafo 2º, inciso V, traz uma das condicionais com sua respectiva sanção: “Se o crime: (...) ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos (...) em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos. A pena prevista é de reclusão de um a cinco anos”.

Quanto aos impactos ao meio ambiente e capacidade tóxica do lodo, pode-se afirmar que variam de acordo com características do manancial de captação de água bruta, tipologia de tratamento e produtos químicos utilizados na ETA. Quando o sulfato de alumínio é utilizado como coagulante primário, certamente os resíduos dos decantadores possuem em sua composição grandes concentrações de alumínio e, de acordo Cordeiro (1999), nestas circunstâncias, quando este fluido é disposto em rios com baixa velocidade ou lagos, podem ser causados problemas principalmente na camada bentônica destes locais.

Alguns experimentos realizados no Brasil e em outros países mostraram que a presença do alumínio em determinadas concentrações pode causar efeitos agudos, crônicos ou até a mortandade em *T. dissimilis*, em trutas e comunidades que vivem na camada macrobentônica (CORDEIRO, 1999)

Cabe ainda destacar as exigências e condicionantes previstas na resolução CONAMA 357/2005 que preconiza classes para os corpos hídricos de acordo com seus usos preponderantes, estabelecendo condições e parâmetros para lançamento de efluentes, como sólidos sedimentáveis, cor, turbidez e diversos outros parâmetros que se apresentam e expressam com as características lodos gerados em ETAs.

No Brasil, os lodos são classificados como resíduos sólidos e, neste caso, segundo a norma técnica NBR 10.004, devem ser tratados e dispostos conforme as exigências dos órgãos reguladores.

Diante do arcabouço apresentado, evidenciam-se as responsabilidades e possíveis sanções e punições, para os gestores e operadores dos sistemas de tratamento de água quando do lançamento dos resíduos nas coleções de corpos d'água ou no ambiente de maneira genérica, sem o devido tratamento e cumprimento das legislações vigentes.

Ainda como novidade legal na realidade brasileira, destaca-se também o marco legal através da Lei 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, trazendo diversos instrumentos, com destaque os princípios da logística reversa, a distinção entre resíduos e rejeitos, além do estabelecimento de hierarquia quanto ao gerenciamento,

privilegiando a redução, o reaproveitamento e a reciclagem, anteriormente a destinação final em aterros sanitários.

### 3.2. Tratamento de Água

O tratamento de água consiste em melhorar suas características organolépticas, físicas, químicas e bacteriológicas, a fim de que se torne adequada ao consumo humano, como descreve Funasa (2006). Para adequar-se ao consumo humano, o tratamento de água tem a função de retirar as substâncias indesejadas, nela presentes, para atender o padrão de potabilidade disposto na Portaria do Ministério da Saúde n.º 518/2004.

Segundo Cordeiro (1999) as Estações de Tratamento de Água - ETAs tem funcionamento semelhante a uma indústria onde uma determinada matéria prima (água bruta) é trabalhada, através de diversas operações e processos, resultando em um produto final (água tratada). Esses sistemas podem em diversas etapas gerar resíduos com as mais diferenciadas características. Assim, um dos problemas a ser equacionado nas ETAs diz respeito aos resíduos gerados e como definir seu destino final.

Segundo Di Bernardo (2001), as estações de tratamento de água podem ter diferentes estruturas, pois a qualidade do manancial de captação interfere no projeto a ser adotado. A estação de tratamento de água convencional ou completa é projetada com a seguinte seqüência: coagulação, floculação, decantação ou flotação, filtração, desinfecção, fluoretação e correção de pH. A Figura 01 ilustra a seqüência de um tratamento convencional.

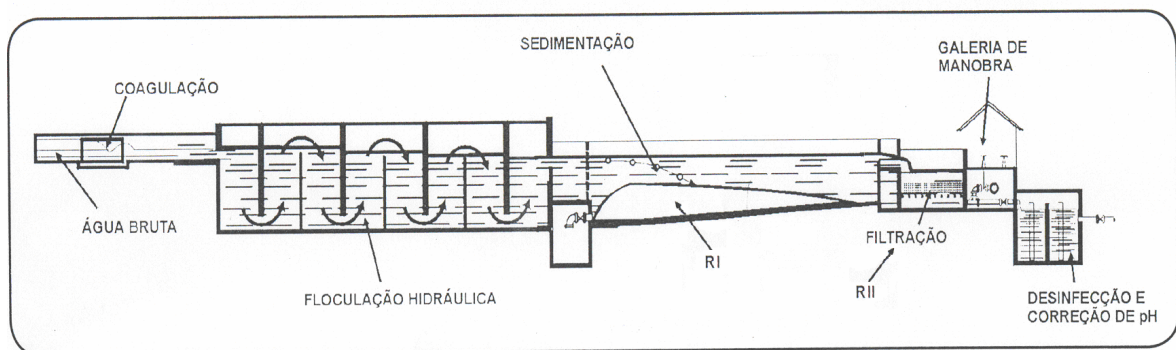


Figura 01 - Seqüência do tratamento de água convencional, onde RI são resíduos oriundos do decantador e RII do sistema de lavagem dos filtros. Fonte: Adaptado de FUNASA (2006).

Negreiros (2008) descreve, de forma sucinta, cada etapa do processo de tratamento de água de uma estação convencional.

### 3.2.1.a. Coagulação

A coagulação tem por objetivo desestabilizar as partículas em estado coloidal, que encontram-se em suspensão ou dissolvidas, em partículas que possam ser removidas pela decantação ou flotação e filtração.

### 3.2.1.b. Floculação

A floculação é a operação que ocorre logo após ou simultaneamente à coagulação, cuja característica fundamental é a formação de aglomerados gelatinosos chamados flocos, resultantes da reação entre o produto químico coagulante e as impurezas da água.

### 3.2.1.c. Decantação e Flotação

A decantação é a operação pelo qual se verifica a sedimentação dos flocos pela ação da gravidade, originando o lodo. Já na flotação, por injeção de ar, os flocos, ao invés de sedimentarem, flutam, onde são recolhidos, já em forma de lodo. A Figura 02 apresenta a estrutura do decantador convencional.

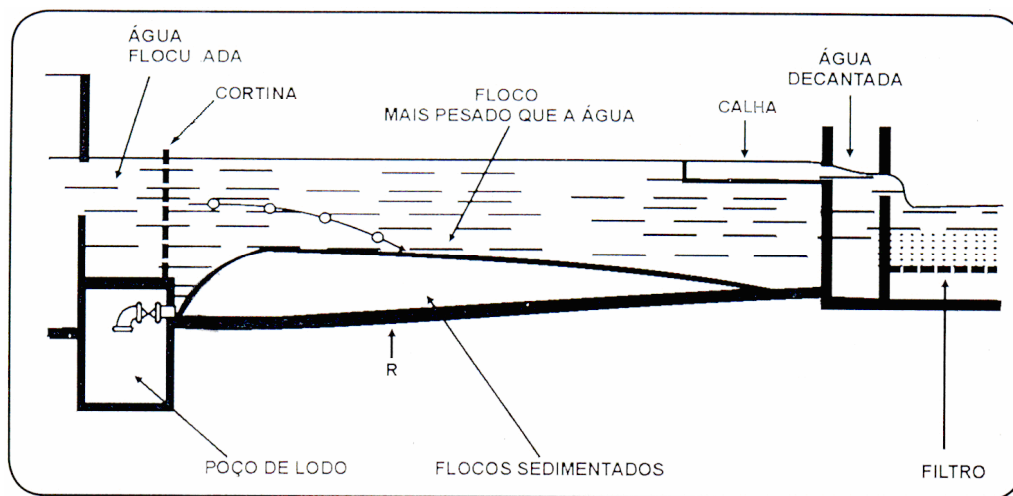


Figura 02 - Sedimentação do lodo no decantador da ETA, onde R são os resíduos gerados no decantador. Fonte: Adaptado de FUNASA (2006).

#### 3.2.1.d. Filtração

A filtração da água consiste em fazê-la passar através de materiais porosos capazes de reter ou remover as impurezas. Em geral, os constituintes dos filtros são: seixos, areia e carvão antracitoso e diversas outras partículas indesejadas retidas.

#### 3.2.1.e. Desinfecção

A desinfecção é a destruição ou inativação de organismos patogênicos, capazes de provocar doenças, através da aplicação de cloro, ozônio ou radiação ultravioleta.

#### 3.2.1.f. Fluoretação

A fluoretação é a aplicação de compostos químicos contendo flúor em dosagens adequadas visando à prevenção da cárie dentária.

#### 3.2.1.g. Correção de pH

Para a correção de pH é recomendada a aplicação de produtos químicos visando corrigir acidez ou alcalinidade excessiva da água.

Esta providência visa principalmente proteger estruturas de armazenamento e distribuição da água.

A figura 03 apresenta as principais tipologias de tratamento de água.

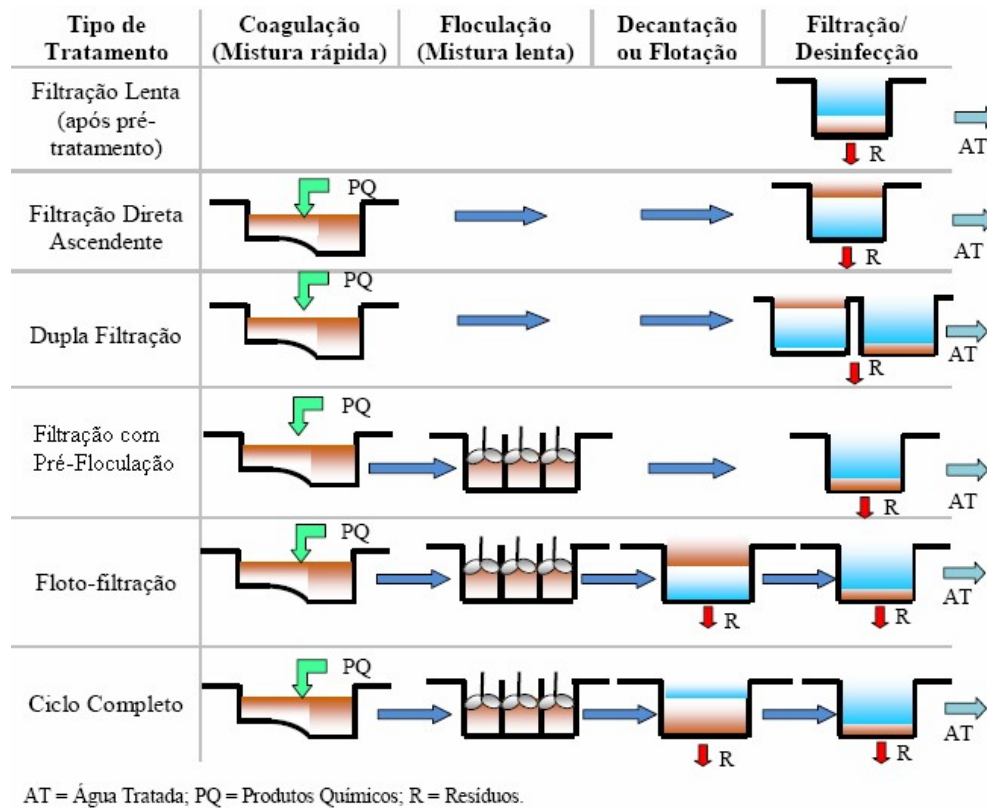


Figura 03 - Principais tipologias utilizadas para o tratamento de água - Fonte: Adaptado de Papani (2009).

### 3.3. Algumas Experiências no Brasil relacionadas aos Resíduos de ETAs

Segundo Cordeiro (1999), no Brasil os estudos e aplicações de tecnologias para gestão dos rejeitos de ETAs têm sido muito tímidos. Como verificado anteriormente, mesmo com os estudos iniciados na década de 70, com trabalhos de mestrado, desenvolvidos na Escola de Engenharia de São Carlos, somente nos últimos anos é que o tema tem despertado interesse. Esse interesse teve na comunidade acadêmica maior interesse. Assim, centros de pesquisa, como a Escola Politécnica da USP, Escola de Engenharia de São Carlos/USP, UNICAMP, UFES, entre outros. O projeto - PROSAB financiado pela FINEP tem buscado incentivar os estudos sobre esses resíduos e vários experimentos em redes têm sido desenvolvidos com bons resultados. As companhias de saneamento somente iniciaram propostas e projetos após gestões da CETESB e Ministério Público. Mesmo assim ainda existe uma falta de conscientização efetiva dos responsáveis em relação ao tema.

Algumas experiências serão relatadas a seguir, no sentido de ilustrar as soluções adotadas em relação à remoção de água dos lodos.

▪ **ETA - Rio Claro - SP**

A cidade de Rio Claro/SP possui duas Estações de tratamento de água para abastecimento da cidade, mas é na ETA II, em funcionamento desde 1983, que, por intervenção da Cetesb foram implantadas lagoas de lodo. Essa ETA é do tipo completa, com coagulação, floculação sedimentação e filtração. A captação da água bruta é feita no Rio Corumbataí distante aproximadamente 3 km da ETA e trata em média 520L/s.

O coagulante utilizado é o cloreto férrico que desestabiliza as partículas coloidais, formando flocos com tamanho suficiente para sua posterior remoção. Nessa etapa tem-se um processo de mistura rápida, para dispersão do coagulante; também a essa mistura são adicionados cal e cloro.

A ETA-Rio Claro é constituída por flocoadores onde é feita uma mistura mecânica lenta para a formação final do floco. Logo após essa água é encaminhada para dois decantadores, onde esse material sedimenta e fica retido. Nas Figuras 04 e 05 apresentam-se imagens dos decantadores no início da limpeza.



Figura 04 - Decantadores da ETA em funcionamento no município de Rio Claro - SP - Fonte: ACHON (2008)





Figura 05 - Decantadores da ETA em funcionamento e no início da limpeza - Fonte: ACHON (2008).

A retirada do lodo acumulado começa com a abertura das comportas para a saída do resíduo (água + partículas) do decantador e descarga deste nas lagoas de lodo, essa abertura é controlada por dois funcionários, um próximo à lagoa e o outro que efetivamente controla a abertura das comportas, para que não ocorra uma vazão excessiva que provoque o transbordamento das lagoas e também para verificar algum possível entupimento na tubulação. Nas Figura 06 e 07 demonstra-se a descarga dos decantadores.



Figura 06 - Descarga do lodo no decantador na ETA - Rio Claro - Fonte: Achon (2008)



Figura 07 - Procedimento de limpeza do lodo acumulado no fundo dos decantadores - Fonte: Achon (2008)

Uma das particularidades desse procedimento é que a água utilizada para a limpeza do decantador não é uma água totalmente tratada, ela é retirada do decantador em funcionamento através de uma bomba instalada nele, que liga os dois decantadores, isto evita o desperdício de água tratada.

Após todo o lodo ser retirado do decantador sendo ele encaminhado através de tubulações até as lagoas de lodo, com auxílio das mangueiras de água, finaliza-se a limpeza do decantador que estará pronto e em condições para entrar em funcionamento. Nas Figuras 08 e 09, observam-se lagoas de lodo no início e final da remoção da água.



Figura 08 - Lagoa de lodo no início do processo de remoção de água - ETA Rio Claro - SP -  
Fonte: Achon (2008).



Figura 09 - Lagoa de lodo após remoção de água - ETA Rio Claro - SP - Fonte: Achon (2008).

▪ **ETA - Cardoso - SP - SABESP**

Fontana (2004) estudou o sistema de tratamento de água no município de Cardoso - SP, gerenciada pela companhia estadual - SABESP, que é ciclo completo com capacidade para 25 L/s e utiliza o Sulfato de Alumínio ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ) como coagulante. A estrutura do sistema é composta de captação superficial com barragem de nível e bombeamento, casa de química, laboratório, unidade de coagulação com mistura rápida por calha Parshall, três flocculadores mecânicos, dois decantadores com volumes de  $113m^3$  cada e três unidades de filtros tipo rápido por gravidade. A operação de lavagem dos decantadores era realizada em períodos que abrangiam cerca de 180 dias. A operação de lavagem de filtros é realizada por perda de carga com duração da carreira de filtração de cerca de 50 horas e consumo de água de cerca de  $30m^3$  por operação. A área da estação de tratamento de água - ETA apresenta disponibilidade de área com topografia favorável para implantação do sistema. A ETA produz em média de  $833 m^3$ (2003) por dia e atende a uma população de cerca de 5000 habitantes que corresponde a 47% da comunidade. As Figura 10 e 11 demonstram detalhes do leito de drenagem.



Figura 10 - Chegada do lodo nos leitos de drenagem - ETA Cardoso - SP. Fonte: Fontana (2004)



Figura 11 – Vista dos Sólidos e manta geotextil após a “drenagem” junto ao leito - ETA Cardoso - SP. Fonte: Fontana (2004)

Segundo Cordeiro (1999), os leitos de secagem consistem em tanques rasos compostos de duas ou três camadas de areia com granulometria variável e cerca de 30 cm de espessura, podendo ser utilizadas mantas geotexteis, como é possível observar na figura 11.

A camada suporte do leito de secagem possui uma espessura aproximada de 0,3 m de areia com tamanho efetivo de 0,3 a 0,5 mm e coeficiente de não-uniformidade menor que 5,0. Sua finalidade consiste basicamente em manter a uniformidade da espessura do lodo, permitir remoção manual facilitada do lodo, e evitar que ocorram perturbações no nível e declividade do fundo devido à movimentação de funcionários sobre o leito.

O meio filtrante é composto por britas graduadas de 1/8” a 1/4”, com variação de espessura entre 0,15 e 0,3 m e, por fim, o sistema drenante é composto por tubos perfurados de 150 ou 200 mm de diâmetro (CORDEIRO, 1999).

Ainda de acordo com Cordeiro (1999), existem ocasiões em que o fundo do leito de secagem recebe uma camada de concreto simples, contudo, tradicionalmente, o fundo é o próprio solo. A operação destes leitos deve ser realizada de forma que, entre um despejo e outro, seja observada a secagem total do lodo, bem como a altura da camada despejada que, após ser espalhada uniformemente, é importante respeitar a altura máxima de 30 cm.

Os resultados comparativos entre as características do lodo gerado no decantador e no drenado do sistema podem ser analisados na Tabela 07. Verifica-se que os resultados

obtidos evidenciam a capacidade de remoção de partículas no leito de drenagem. Esse sistema tem se mostrado promissor, principalmente em locais com disponibilidade de área e pequenas vazões.

Tabela 07 - Características do lodo de decantador e drenado do Leito de Drenagem

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. Fonte: Fontana (2004).

Segundo Cordeiro (1999), através desses sistemas apresentados pode-se notar que o desafio a ser enfrentado pelos gerentes dos sistemas será intenso, principalmente quando o Ministério Público e a CETESB resolverem atuar na forma da lei. A Lei de Crimes Ambientais (Lei nº. 9605/98) poderá fornecer amparo para que os gestores respondam criminalmente pelo problema.

As tecnologias hoje existentes parecem ser insuficientes para a solução das cerca de 7.500 ETA em funcionamento hoje no Brasil. Por outro lado, reformas e novas ETAs deverão ser projetadas de forma adequada para que não se incorra nos erros anteriores, quando se tinha uma visão pouco ambientalista dos sistemas. Deve-se lembrar que a legislação deverá ser cumprida. Assim, a elaboração de EIAs e RIMAs para os sistemas de abastecimento deverão mostrar com detalhes como serão solucionados os problemas resultantes da disposição de resíduos das ETAs.

### **3.4. Análise Crítica da Bibliografia Consultada**

Diante das pesquisas e revisão realizada fica evidenciada a carência de estudos específicos, de caráter tecnológico e, principalmente, sob o ponto de vista da eficiente gestão dos resíduos gerados nas ETAs e seus impactos ambientais, econômicos e de outras ordens.

Em algumas referências utilizadas destacam-se as dificuldades quanto à compreensão das etapas de forma sistêmica quanto a fornecimento de água, da captação até o gerenciamento dos resíduos, inclusive por vezes desconsiderando a geração desses resíduos.

A visão sistêmica, necessária ao bom e eficiente gerenciamento dos sistemas, notadamente observando-se as evoluções dos conhecimentos, tanto nos aspectos legais quanto operacionais, vem se demonstrando uma necessidade e, principalmente, questão de grande relevância, com destaque as experiências internacionais e outras citadas em território nacional.

Observando o arcabouço legal existente no Brasil, observou-se que evolutivamente, a abordagem sobre os lodos de ETAs está se transformando, sendo enquadrados de forma menos difusa em termos legais, ou seja, atualmente, pode-se afirmar de acordo com a legislação que os lodos são caracterizados como resíduos e que causam impactos (possivelmente, crimes ambientais), contrariando uma visão histórica de que simplesmente, quando do lançamento desses resíduos no corpo hídrico, sem qualquer tratamento, apenas ocorreria a devolução daqueles componentes que foram trazidos para as ETAs quando da captação.

Na realidade brasileira e seus contrastes, durante os levantamentos realizados foi possível observar diversas diferenças quanto à compreensão e o fatores motivacionais quanto a busca de iniciativas voltadas à gestão dos resíduos gerados, seja por pressões legais ou iniciativa econômica, destacando que nos mananciais onde a degradação possui avançado estágio de degradação da qualidade hídrica a preocupação ao menos se faz presente, enquanto em realidades onde ainda existem níveis de disponibilidade qualitativa e quantitativa elevados, tal preocupação ainda carece de sensibilização, conscientização e incorporação nos processos decisórios.

A revisão realizada permitiu suscitar questionamentos, discussões e teve papel de grande relevância na compreensão de experiências em outras realidades, na aplicação dos aspectos legais, premência da visão global nos sistemas, com destaque as alternativas já utilizadas ou potenciais quanto aos métodos e tecnologias para o tratamento e destinação dos resíduos gerados.

#### 4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

De acordo com os objetivos estabelecidos, ou seja, realizar diagnóstico de geração e das experiências existentes relacionadas aos resíduos gerados nas ETAs dos 58 municípios paulistas inseridos nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, foram realizadas diversas etapas e utilizados alguns instrumentos metodológicos.

Inicialmente e, paralelamente a todas as outras etapas, foram realizados aprofundados levantamentos bibliográficos. O estudo bibliográfico centrou-se nas contribuições teóricas de vários autores nacionais e internacionais que realizaram publicações, monografias, dissertações, periódicos, revistas técnicas e teses sobre o tema de trabalho.

Para análise do material obtido com a pesquisa bibliográfica, foi lançado mão de diversos métodos. O método histórico, de forma a efetuar breve regressão para análise da evolução histórica do setor de saneamento na área de estudo. Ademais o método dialético também foi utilizado para a busca das teorias e experiências existentes.

No embasamento teórico da pesquisa como apresentação e contextualização da dissertação, foram abordadas questões a respeito de questões teóricas, normativas e práticas sobre o cenário do abastecimento público de água, as estações de tratamento de água e os resíduos produzidos no cenário internacional, nacional e, em destaque, na região das bacias PCJ,

Para o desenvolvimento das fases subseqüentes, as bases metodológicas a serem utilizadas nortearam a busca das informações necessárias para a compreensão, análise e conclusões sobre os objetivos desse trabalho, conforme itens a seguir:

##### 4.1. Contextualização e Definição de área de estudo

O Estado de São Paulo adotou uma divisão territorial hídrico-hidrográfica a partir de seus divisores de águas, constituindo as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHs), dentre as UGRHs contidas nas limitações do Estado de São Paulo, a de interesse para o presente trabalho é a UGRHI de número 5, referente às Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá - Bacias PCJ.

Segundo a Irrigart (2007), as Bacias PCJ situam-se entre os meridianos 46° e 49° W e latitudes 22° e 23,5° S, apresentando extensão aproximada de 300 km no sentido Leste-Oeste e 100 km no sentido Norte-Sul. Elas abrangem uma área de 15.304 km<sup>2</sup>, ocupando



maior parte no Estado de São Paulo (92,6%) e o restante (7,4%) no Estado de Minas Gerais, o que equivale ao território integral de 58 municípios paulistas e 4 mineiros, assim como o território parcial de outros 14 municípios, sendo 13 paulistas e 1 mineiro.

Com aproximadamente 5 milhões de habitantes, a região é considerada uma das mais importantes do Brasil, devido ao seu desenvolvimento econômico, que representa cerca de 7% do Produto Interno Bruto (PIB) Nacional, segundo o IBGE (2008).

As Bacias PCJ, ilustradas na Figura 12, são compostas por três bacias hidrográficas distintas: a do Rio Piracicaba, a do Rio Capivari e a do Rio Jundiá, sendo todas afluentes do Rio Tietê, em sua porção média.



Figura 12 - Localização territorial das Bacias PCJ. Fonte: Consórcio PCJ (2008).

No entanto, a Irrigart (2007) aponta que a escassez dos recursos hídricos ameaça toda essa prosperidade. A demanda de água superficial nas Bacias PCJ é de 17 m<sup>3</sup>/s para o abastecimento urbano, 15 m<sup>3</sup>/s para uso industrial e 9 m<sup>3</sup>/s para o consumo agrícola. A disponibilidade de água durante a estiagem fica em situação crítica, principalmente para o abastecimento público, pois, se agrava devido à reversão de até 31 m<sup>3</sup>/s de água, através do Sistema Cantareira, para o abastecimento de 50 % da população da Região Metropolitana de São Paulo, ou seja, cerca de 9 milhões de pessoas.

A má qualidade da água também contribui para a escassez na região das Bacias PCJ, pois, segundo a Irrigart (2007) as cidades da região tratam, em média, 45% dos esgotos sanitários e as indústrias retiram 92% das cargas industriais orgânicas. O índice de atendimento da população urbana com água tratada é de 95%.

Nesse sentido, o presente trabalho utilizou como área de estudo a totalidade dos municípios paulistas com sede nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá - UGRHI 5. A Tabela 08 demonstra a lista dos municípios inseridos no estudo e suas respectivas populações.

Tabela 08 - Municípios e população urbana inseridos na área de estudo

<b>N.º</b>	<b>Município</b>	<b>População (2008)</b>
1	Águas de São Pedro	2.569
2	Americana	206.892
3	Amparo	47.693
4	Analândia	3.328
5	Artur Nogueira	37.656
6	Atibaia	109.494
7	Bom Jesus dos Perdões	14.719
8	Bragança Paulista	134.811
9	Cabreúva	25.560
10	Campinas	1.065.138
11	Campo Limpo Paulista	69.640
12	Capivari	36.688
13	Charqueada	13.230
14	Cordeirópolis	17.730
15	Corumbataí	2.244
16	Cosmópolis	51.509
17	Elias Fausto	12.066
18	Holambra	6.899
19	Hortolândia	209.345
20	Indaiatuba	184.775
21	Ipeúna	4.488
22	Iracemápolis	18.022
23	Itatiba	78.271
24	Itupeva	33.158
25	Jaguariúna	35.495
26	Jarinu	17.185
27	Joanópolis	10.730
28	Jundiá	341.037
29	Limeira	277.199
30	Louveira	29.187
31	Mombuca	2.746
32	Monte Alegre do Sul	3.643
33	Monte Mor	40.143
34	Morungaba	10.300

35	Nazaré Paulista	12.992
36	Nova Odessa	45.170
37	Paulínia	78.875
38	Pedra Bela	1.321
39	Pedreira	37.968
40	Pinhalzinho	5.985
41	Piracaia	22.279
42	Piracicaba	363.485
43	Rafard	7.187
44	Rio Claro	185.753
45	Rio das Pedras	26.200
46	Saltinho	5.650
47	Salto	103.389
48	Santa Bárbara d'Oeste	190.176
49	Santa Gertrudes	19.316
50	Santa Maria da Serra	5.006
51	Santo Antônio de Posse	16.284
52	São Pedro	25.971
53	Sumaré	242.535
54	Tuiuti	2.864
55	Valinhos	96.632
56	Vargem	3.804
57	Várzea Paulista	102.093
58	Vinhedo	58.455
	<b>TOTAL</b>	<b>4.812.980</b>

Fonte: IBGE (2008)

Os municípios foram agrupados em 07 sub-bacias (Atibaia, Camanducaia, Capivari, Corumbataí, Jaguari, Jundiá e Piracicaba) visando gerar subsídios de informações de forma regional.

Tal definição se baseia no princípio da Lei n.º 9433/97, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, indicando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento a ser adotada.

Destaca-se que a escolha da área de abrangência do estudo e, de acordo com os objetivos estabelecidos, o presente trabalho pretende fornecer subsídios para possíveis soluções regionais, uma vez que, as realidades municipais quanto ao tema possuem características físicas, logísticas e políticas em comum.

Ainda cabe destacar que no gerenciamento de recursos hídricos, as bacias PCJ englobam também 04 municípios mineiros, que não foram inseridos na área de estudo por estarem submetidos a uma realidade jurídica estadual diferente das normativas do Estado de São Paulo.

## 4.2. Questionário para coleta de dados primários

Tendo em vista a necessidade de coletar dados junto aos municípios inseridos na área de abrangência do estudo, foi elaborado um questionário auto-explicativo, visando coletar as informações do número de unidades geradoras e geração atual dos resíduos, concepções de tratamento, principais produtos químicos utilizados durante o tratamento de água, presença e que tipo de sistema de desaguamento, destinação final e informações sobre logística de transporte, despesas totais para a gestão dos lodos.

Para “teste” do questionário, foi realizada em 30 de junho de 2010, oficina de trabalho junto à sede do Consórcio Intermunicipal das bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí em Americana - São Paulo, com a presença de cerca de 50 representantes de operadores de saneamento nos municípios envolvidos, visando à aplicação “teste” dos questionários, identificação de pontos falhos, dificuldades de respostas, dentre outros aspectos.

Experiências anteriores apontaram que existe um elevado grau de dificuldade de respostas, seja pelo nível de escolaridade por aquele que preencheria os questionamentos ou pela ausência dos dados e indicadores de forma organizada e histórica.

Nesse sentido, o questionário buscou utilizar linguagem técnica, simples, mas que propiciasse a geração de dados e elementos no atendimento dos objetivos do trabalho, contemplando questões, como:

- Informações institucionais e de contatos;
- Número de ETAs em operação ou não;
- Parâmetros operacionais das ETAs;
- Identificação dos mananciais de abastecimento;
- Concepção das estruturas de tratamento de água;
- Produtos químicos utilizados durante o tratamento;
- Formas de tratamento/desaguamento;
- Destinação final dos lodos;
- Estruturas ou forma de quantificação dos lodos gerados;
- Análises qualitativas dos lodos;

No Anexo I consta o questionário utilizado para coleta dos dados primários.

### **4.3. Identificação dos contatos dos gestores responsáveis pelo fornecimento das informações**

Tendo em vista a diversidade de municípios, as diferentes realidades quanto as estruturas municipais do saneamento, as figuras dos operadores (autarquias, concessões públicas e privadas, companhias estadual, secretarias municipais), através de contatos via telefone, e-mails e ofícios, foram identificados os gestores responsáveis pelo fornecimento das informações, assim como seus contatos diretos.

A atividade teve grande importância, garantindo agilidade na obtenção das respostas e criando um canal de comunicação direto com os gestores da área.

A identificação dos gestores e seus contatos também serão utilizados para o atendimento dos objetivos específicos de divulgação dos resultados deste trabalho e a geração subsídios para tomadas de decisões e busca por soluções regionais.

No sentido de organizar e tabular tais informações de contatos diretos foi utilizada a ferramenta de planilha eletrônica (Microsoft Excel), propiciando rápida busca de informações e facilidade de divulgação e atualização.

Para a realização desta atividade, o Consórcio Intermunicipal das bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá com sede no município de Americana - São Paulo forneceu apoio com disponibilização de infra-estrutura.

### **4.4. Aplicação e Envio dos questionários**

O envio dos questionários para coleta de dados requereu uma atenção especial, ficando evidenciado que não basta apenas enviá-los, mas sim, ter uma estrutura capaz de acompanhar seu envio, bem como o retorno das informações de forma confiável.

Dessa forma, após o evento em 30 de junho de 2010, houve o encaminhamento de 58 formulários via correio e via endereços eletrônicos (e-mail) a todos os gestores dos setores indicados.

Nesta atividade, a estrutura do Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá apoiou as atividades, no sentido de fornecer infra-estrutura de envio e acompanhamento.

Destaca-se também, que em paralelo a esse trabalho, está sendo conduzido pelo Consórcio PCJ em parceria com os Comitês PCJ, um estudo de viabilidade para centrais de

lodos de ETEs e ETAs nas Bacias PCJ, onde também estão sendo levantados dados, portanto, haverá comunicação com o referido projeto no sentido de utilização mutua das informações..

#### **4.5. Recebimento e esclarecimentos de possíveis dúvidas quanto aos questionários de coleta de dados**

Considerando a necessidade da realização do recebimento dos questionários enviados aos administradores municipais ou aos responsáveis técnicos dos municípios, adotou-se uma forma de planejamento acoplada à execução, onde após o recebimento do material, ocorreu a confirmação, bem como o preenchimento de campos não preenchidos e/ou esclarecimento de possíveis dúvidas.

Para a viabilização de tais procedimentos, foi implantado um plantão de dúvidas e esclarecimentos via e-mail e telefone, com o intuito de sanar dúvidas referentes aos dados e informações solicitadas, no âmbito da estrutura do Consórcio PCJ, que também contou com apoio de empresa de consultoria denominada BioCiclo.

#### **4.6. Sistematização dos dados coletados e banco de informações**

Posteriormente ao recebimento e triagem das informações recebidas, foi construído um banco das informações, através da ferramenta de planilha eletrônica (Microsoft Excel), propiciando rápida busca de informações e facilidade na divulgação e atualização das informações.

O banco de dados contem as informações fornecidas pelos gestores, permitindo análises comparativas, geração de gráficos e compreensão dos cenários de geração e gerenciamento.

#### **4.7. Premissas estabelecidas e cálculo teórico de geração dos resíduos nas ETAs da área de estudo**

Durante a coleta de dados e recebimento dos questionários encaminhados aos gestores, constatou-se que existia uma escassez de dados referentes à geração de lodo em ETAs e o seu conseqüente gerenciamento, optou-se, portanto, em determinados municípios, por quantificar considerando as características do manancial de abastecimento e os cálculos teóricos

disponíveis na literatura, inclusive visando verificar a consistência dos dados fornecidos, quando da existência.

Fontana (2004) citou que 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 pode apresentar características diferentes quanto aos resíduos gerados considerando as vazões e concentrações de sólidos.

Saron (2001) estudou e comparou algumas metodologias de cálculo baseadas em equações propostas pela American Water Work Association - AWWA (1978), pela Water Research Center - WCR (1979), pela Association Francaise Pour L'etude Des Eaux - AFEE (1982), por CORNWELL (1987), por KAWAMURA (1991), dentre outros.

Para esse presente estudo, diante das informações obtidas através dos formulários de coleta de dados, será utilizada a metodologia sugerida por Richter (2001), que resulta na massa de sólidos secos precipitada em quilogramas por metro cúbico de água tratada (kg/m<sup>3</sup>), portanto, os resíduos gerados nas etapas de decantação e filtros estão contabilizados. Tal metodologia leva em consideração a cor da água bruta, a turbidez da água bruta, a dosagem de coagulante e a vazão nas estações de tratamento de água, conforme equações (1) e (2).

Para a obtenção dos dados através de cálculo teórico ou verificação de possíveis inconsistências nos dados informados, foram adotadas algumas premissas:

- Para as demandas urbanas estimadas para o ano de 2008, utilizou-se os dados de população urbana e os índices de demanda per capita apresentados no Plano de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2008-2020- Quadro 83 - Demandas urbanas e principais mananciais (2008) elaborado pela COBRAPE. Essa metodologia foi desenvolvida pela COBRAPE e esses valores não se referem à vazão outorgada.
- Para as demandas urbanas de 2010 utilizou-se de dois artifícios: prioritariamente os dados levantados em campo, nos questionários respondidos.
- Nos casos onde isso não foi possível, utilizou-se um dado estimado, multiplicando os dados de população (SEADE-2010 - para municípios paulistas pelos valores de demanda per capita (l/hab.dia) de cada município de acordo com o Plano de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2008-2020.
- Para o cálculo do fator de geração de lodo (S), utilizaram-se as informações de cor, turbidez e dosagem de coagulante dos principais rios de cada uma das 07 sub-bacias da área de estudo.

- Para municípios que o abastecimento é feito a partir de nascentes ou de represa, utilizaram-se as informações de cor, turbidez de acordo com o definido pela Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005, no seu artigo 15, que define padrões para águas doces de classe 2.
- Para os municípios onde o abastecimento é feito por poços profundos ou subterrâneos, não foi contabilizada a geração de lodo.

Conforme mencionado anteriormente, avaliando-se as diversas propostas decorrentes da revisão bibliográfica para levantamento teórico dos resíduos provenientes de Estações de Tratamento de Água, adotou-se a sugerida por Richter (2001).

Tal proposta leva em consideração a natureza físico-química da água, a dosagem e o tipo de coagulante (produtos químicos), além das demais substâncias envolvidas na coagulação, conforme equação (1).

$$S = \frac{0,2 * C + K_1 * T + K_2 * D}{1000} \quad (1)$$

Onde:

*S = massa de sólidos secos precipitada em quilogramas por metro cúbico de água tratada (kg/m<sup>3</sup>).*

*C = cor da água bruta, (°H)*

*T = turbidez da água bruta, (UNT)*

*D = dosagem de coagulante, (mg/l)*

*K1 = coeficiente dado pela relação de sólidos suspensos totais e turbidez - varia ente 0,5 e 2,0.*

*K2 = coeficiente dado em função do coagulante usado, conforme Tabela 09 - Valores de K2.*

Tabela 09 - Valores de K2

<b>Coagulante K2</b>	<b>K<sub>2</sub></b>
Sulfato de Alumínio	0,26
Cloreto Férrico	0,40
Sulfato Férrico	0,54

Fonte: Richter (2001).

Os valores de K2 correspondem á relação estequiométrica na formação do precipitado de hidróxido. Não há valores tabelados para o coagulante Policloreto de Alumínio (PAC), porém em seus estudos Filho (2009) constatou que a produção de lodo do PAC apresenta



valores próximos quando comparado ao sulfato de alumínio, podendo ser considerado que ambos os coagulantes apresentam comportamento semelhante com respeito à produção de lodo. Por esse motivo, o presente estudo adotará K2 para PAC = 0,26

O coeficiente K1 tende a ser mais próximo de 0,5 para águas de baixa turbidez e/ou níveis elevados de matéria orgânica e, tende a 2,0 para águas de turbidez elevada e muito mineralizadas. Para turbidez menores que 100 UNT o teor de sólidos em mg/l é aproximadamente igual turbidez em unidades nefelométricas (UNT). Para fins de cálculos deste trabalho, será adotado o valor de K1 = 1,25, ou seja, valor médio na faixa de 0,5 a 2,0, tendo em vista a variação da turbidez e teor de sólidos nos mananciais ao longo do ano.

A fim de se obter a massa de sólidos secos precipitada em quilogramas por metro cúbico de água tratada, utilizou-se a equação (2) proposta por Cornwell (apud SARON 2001), adaptada:

$$W = S * Q \quad (2)$$

Onde:

**W** = quantidade de sólidos secos (kg/segundo)

**S** = produção de sólidos (kg de matéria seca / m<sup>3</sup> de água bruta tratada).

**Q** = vazão de água bruta tratada (m<sup>3</sup>/s)

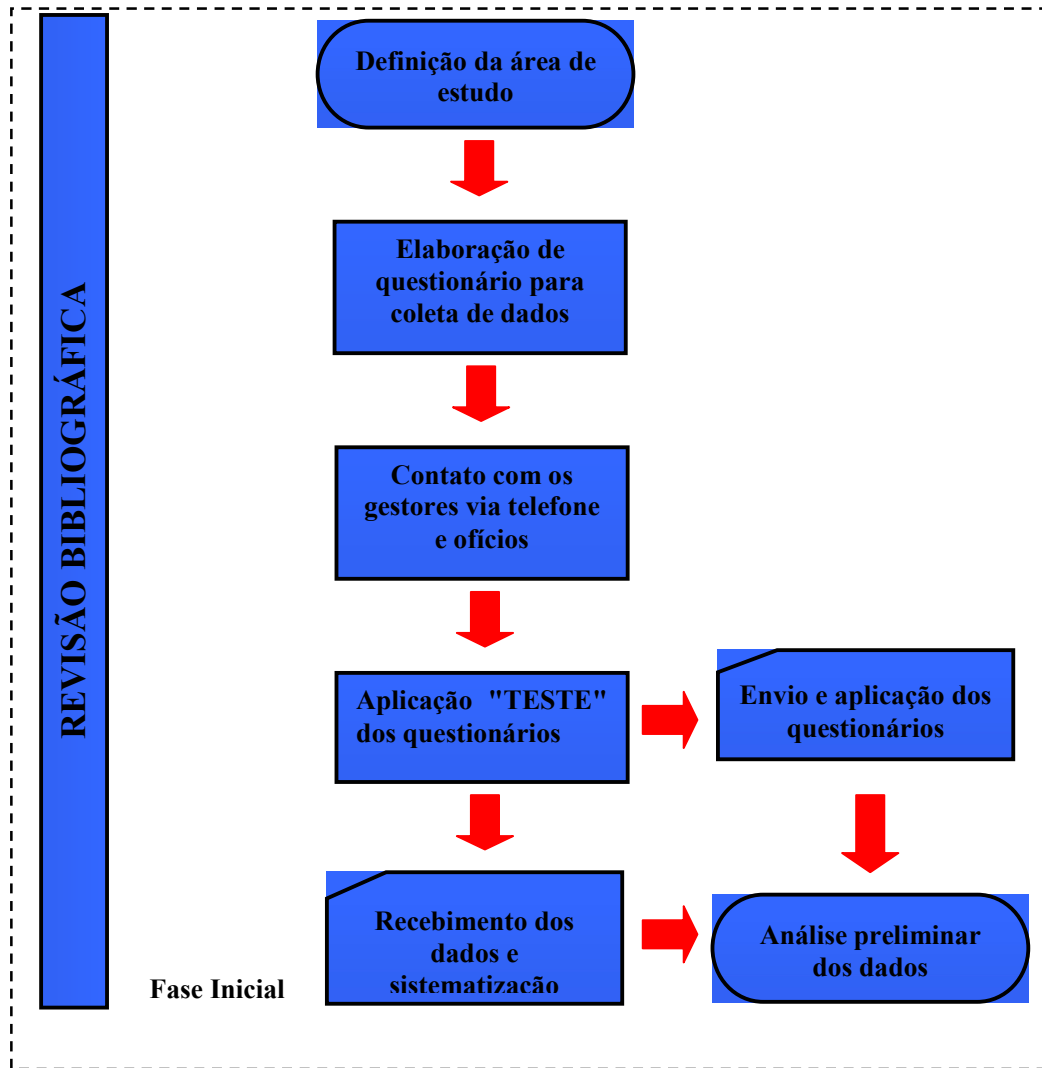


Figura 13 - Fluxograma metodológico da fase inicial

#### 4.8. Análises, discussões e conclusões

Como última fase dos trabalhos, após a sistematização das informações e elaboração do diagnóstico, foram analisados e discutidos os resultados, transformando-os de “brutos” em comparativos, gráficos e análises críticas, sob a ótica da identificação experiências realizadas ou inovadoras e, no momento das conclusões, com base no diagnóstico elaborado, este trabalho busca ser um instrumento de auxílio à tomada de decisões, informando, atualizando e situando os gestores de saneamento sobre o tema e seus aspectos e novidades.

Cabe ressaltar, conforme era esperado, que em diversos casos não seria possível a geração do dado primário, lançando a necessidade da utilização de método teórico para a determinação da geração dos resíduos gerados.

Nesse item foi possível identificar as experiências ligadas à gestão dos lodos das ETAs e buscar fomentar a capacidade de replicação e o desenvolvimento de novas ações.

#### **4.9. Divulgação dos resultados do trabalho de pesquisa**

Visando informar, atualizar e situar os gestores de saneamento sobre o tema, pretende-se realizar apresentação dos resultados junto a Câmara Técnica de Saneamento dos Comitês PCJ, grupo que reúne os operadores do setor na região.

Em paralelo com tais procedimentos, os resultados serão encaminhados a todos os gestores identificados na pesquisa, disponibilizados na internet para download, assim como a produção de artigo científico para publicação na área.

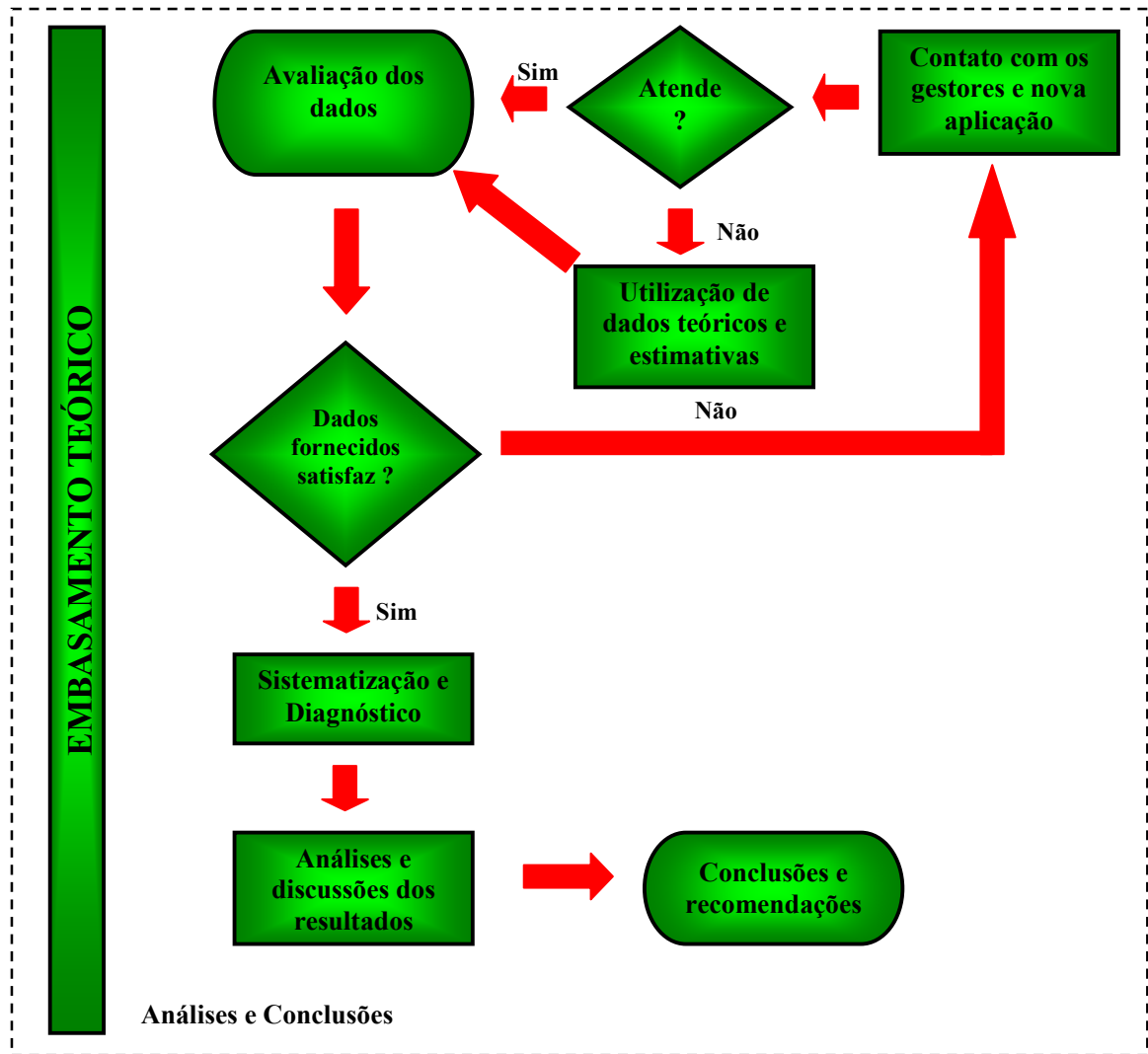


Figura 14 - Fluxograma metodológico das análises e conclusões

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As informações obtidas foram sistematizadas neste trabalho, de modo a permitir ao leitor uma análise de ordem prática e crítica, uma vez que, o tema pode ser considerado “novo” no contexto da visão sistêmica do gerenciamento dos resíduos gerados nas ETAs.

Cabe ressaltar que os dados obtidos, através da aquisição de dados primários ou, na ausência desses, através de método teórico, buscam atender os objetivos estabelecidos para o trabalho, porém, a análise de tais dados pode ser realizada de outras formas, no sentido do foco a ser utilizado, gerando, portanto, produtos e resultados complementares.

Para melhor compreensão e visualização dos resultados e discussões, os itens foram organizados em coleta de dados primários, discussões quanto a geração dos resíduos nas

ETAs, sistemas de tratamento e disposição final dos lodos, identificação de experiências nas Bacias PCJ e análise crítica dos resultados.

### 5.1. Resultados da coleta de dados primários

A coleta de dados primários através dos questionários e a análise do cenário de envio de questionários e respostas recebidas apresentaram os resultados demonstrados na Tabela 10.

Tabela 10 - Balanço do envio dos questionários

	<b>Número de municípios</b>	<b>Percentual populacional em relação à área de estudo (%)</b>
Municípios enviados	58	100
Municípios que responderam	53	98,97
Municípios que não responderam	5	1,03

Evidenciou-se que nem todos os questionários recebidos apresentaram todos os campos preenchidos. Para os campos não preenchidos foram mantidos contatos com os gestores indicados visando esclarecimentos e possível preenchimento, nos casos que ainda persistiram a ausência dos dados, foram utilizados dados teóricos para efeito desse trabalho.

Para viabilizar o atendimento de todos os itens, no caso dos questionários não-recebidos foram utilizados dados teóricos para efeito desse trabalho. Cabe destacar que os municípios que não responderam os questionários representam 1,03% do total populacional da área de estudo.

No andamento dos trabalhos de coleta de dados e conforme citado, 53 municípios responderam, com isso foram gerados 84 questionários, uma vez que, para cada ETA foi preenchido um formulário específico, já que existem variações quanto aos mananciais, concepções, produtos utilizados, dentre outras variáveis.

Observando o cenário da coleta de dados, pode-se afirmar que o número de ETAs na área de estudo é de 89 estações em 58 municípios, considerando suas diferentes concepções, com destaque aqueles sistemas que se utilizam de poços, onde o sistema de tratamento é simplificado.

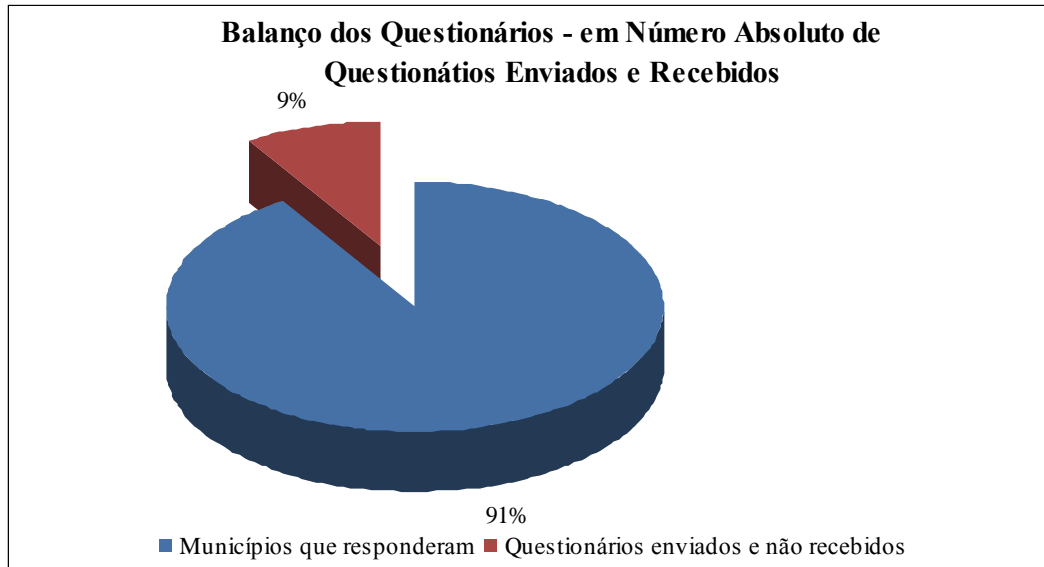


Figura 15 - Balanço dos questionários, considerando percentualmente o número de questionários enviados e recebidos com base no número de municípios, ou seja, 58 municípios.



Figura 16 - Representatividade dos questionários que relaciona percentualmente o número de questionários enviados e recebidos com base na representatividade em termos populacionais dos questionários recebidos.

Cabe destacar que alguns questionários foram enviados e não recebidos, conforme descrito nos itens anteriores, porém, afirmar-se que os dados dos municípios que não responderam, foram inseridos no trabalho através da obtenção de informações teóricas em

pesquisas bibliográficas. Portanto, os resultados contemplam 100% das ETAs inseridas na área de estudo deste trabalho.

## 5.2. Resultados e discussões quanto a geração dos resíduos nas ETAs

Diante da aplicação dos questionários, conforme descrito no item procedimentos metodológicos, e encaminhamento dos questionários aos gestores, constatou-se que existia uma escassez de dados referentes à geração de lodo em ETAs e o seu conseqüente gerenciamento, optou-se, portanto, em determinados municípios, por quantificar considerando as características do manancial de abastecimento e os cálculos teóricos disponíveis na literatura, inclusive visando verificar a consistência dos dados fornecidos, quando da existência.

A tabela 11 demonstra o cenário de existência ou não de algum sistema de medição ou dimensionamento da geração dos lodos nas 89 ETAs em operação na área de estudo.

Tabela 11 - Presença ou não de sistema de dimensionamento de geração de lodos

	<b>Número de Respostas</b>	<b>Percentual em relação às 89 ETAs (%)</b>
Respostas sim	12	13
Resposta não	62	70
Dados não disponibilizados	15	17

Os resultados demonstraram que 70% das ETAs não possuem nenhum tipo de sistema de medição ou dimensionamento da geração dos lodos, independentemente, da existência de posterior tratamento (desaguamento) ou tipo de destinação final.

Quanto àqueles sistemas que possuem algum tipo de medição (13%) não foi possível definir de forma objetiva diante das informações prestadas, mas observou-se que as estimativas são realizadas através da medição da vazão de entrada nas ETAs e/ou com a aplicação de métodos teóricos.

Os resultados são apresentados de forma gráfica na Figura 17.

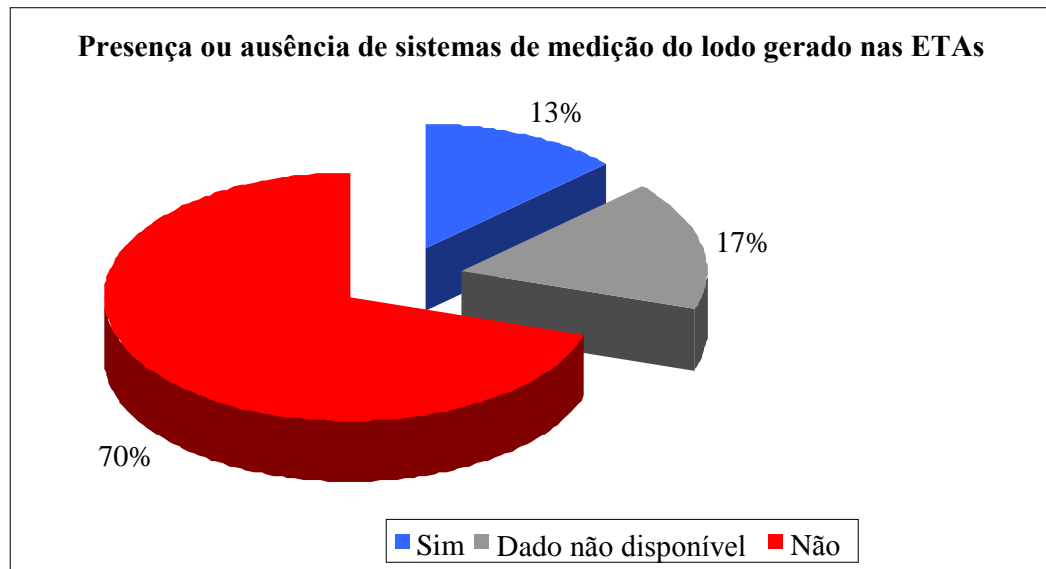


Figura 17 - Cenário de respostas quanto a presença ou ausência de sistemas de medição da geração dos lodos nas 89 ETAs em operação na área de estudo.

Sendo assim, a fim de estimar a produção dos resíduos gerados nas ETAs na área de estudo deste trabalho foram analisados os principais corpos d'água, de cada uma das 7 sub-bacias. Os resultados são apresentados a seguir.

Sub-Bacia do Rio Capivari:

Utilizou-se dos dados da captação do município de Campinas no rio Capivari. Aplicando a equação proposta por Richther chegou-se aos resultados apresentados nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12 - Subsídios e características - sub-bacia do Rio Capivari

Nome do Município	Nome do Manancial	Nome do Ponto	Cor (° H)	K <sub>1</sub>	Turbidez (UNT)	D (mg/l)
Campinas	Rio Capivari	CPIV 02130	200	1,25	88,5	90

Os parâmetros usados foram levantados conforme abaixo:

**C** = cor da água bruta, (°H) - De acordo com o dado fornecido através do envio do questionário.

**T** = turbidez da água bruta, (UNT) - De acordo com o Relatório de Qualidade das Águas Superficiais 2009 (CETESB), Na captação de Campinas - ETA Capivari na Rodovia dos Bandeirantes, ponto CPIV 02130.

**D** = dosagem média de coagulante (estiagem e chuvas), 90 mg/l. De acordo com o dado fornecido através do envio do questionário.

**K<sub>1</sub>** = coeficiente dado pela relação de sólidos suspensos totais e turbidez - adotado 1,25.

**K<sub>2</sub>** = coeficiente dado em função do coagulante usado, no caso PAC (adotado 0,26).



De acordo com essas premissas detalhadas no item procedimentos metodológicos, obteve-se a Tabela 13, que traz a geração de lodo, em toneladas de lodo seco ao mês referente à sub-bacia do Rio Capivari:

Tabela 13 - Resultados do cálculo de geração de lodos - massa de sólidos secos precipitada por metro cúbico de água tratada, para o Rio Capivari

Sub-Bacia - Rio Capivari						
Cálculo da Massa de Sólidos Secos						
N.º	Município	Sub-Bacia	Órgão Gestor	Demanda Hídrica Urbana (m³/s)	S (Kg de lodo / m³ água tratada)	Faixa de Geração de lodo (kg de lodo/s)
				2010		2010
1	Capivari	Capivari	SAAE	0,07	0,1634	0,0114
2	Elias Fausto	Capivari	SABESP	0,07	Poços	---
3	Louveira	Capivari	DAE	0,14	0,1740	0,0244
4	Monte Mor	Capivari	SABESP	0,04	0,1740	0,0070
5	Rafard	Capivari	DAE	0,04	Poços	---
6	Mombuca	Capivari	SABESP	0,01	Poços	---
7	Vinhedo	Capivari	SANEBAVI	0,21	0,1740	0,0365
<b>Total Sub-bacia do Capivari</b>			----	<b>0,58</b>	----	<b>0,0793</b>
<b>TOTAL (ton de lodo seco/mês)</b>						<b>205,55</b>

Legenda:

Considerando que a ETA opere 24 horas por dia e 30 dias por mês

Área total do Município: Base IBGE 2000

Demanda Hídrica 2010:

Dado Levantado através de questionário de coleta de dados.

Dado obtido da população urbana - IBGE 2010 x Demanda per capita (l/hab. dia) de cada município de acordo com o Plano de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2008-2020 - Quadro 35 - Estimativa de Demanda e Consumo per capita COBRAPE .

Fator "S" de geração:

COMANA 357, considerando os parâmetros de um Rio Classe 2 (cor = 75 e turbidez = 100), já que os municípios possuem manancial de abastecimento através de barramento/represamento.

Considerando o ponto de captação do município de Campinas - CPIV 02130.

#### Sub-Bacia do Rio Piracicaba

Para análise do rio Piracicaba utilizou-se dois pontos, Alto Piracicaba - Captação de Município de Piracicaba e Baixo Piracicaba - Captação do Município de Americana e jusante. Aplicando a equação proposta por Richer chegou-se aos resultados apresentados nas Tabelas 14, 15, 16 e 17.

Tabela 14 - Subsídios e características - sub-bacia do Baixo Piracicaba

Nome do Município	Nome do Manancial	Nome do Ponto	Cor (° H)	K <sub>1</sub>	Turbidez (UNT)	D (mg/l)
Piracicaba	Baixo Rio Piracicaba	Captação - Piracicaba	312	1,25	188,5	40

\*\*Ponto não é monitorado pela CETESB. Dados do SEMAE - Piracicaba

**C** = cor da água bruta, (°H) - De acordo com o dado fornecido através do envio do questionário.

**T** = turbidez da água bruta, (UNT) - Como esta captação não é monitorada pela CETESB, utilizou-se dos dados disponibilizados através do questionário de dados.

**D** = dosagem média de coagulante (estiagem e chuvas), 40 mg/l. De acordo com o dado fornecido através do envio do questionário.

**K<sub>1</sub>** = coeficiente dado pela relação de sólidos suspensos totais e turbidez - adotado 1,25.

**K<sub>2</sub>** = coeficiente dado em função do coagulante usado, no caso sulfato de alumínio e PAC, adotado 0,26.

Tabela 15 - Subsídios e características - sub-bacia do Alto Piracicaba

Nome do Município	Nome do Manancial	Nome do Ponto	Cor (° H)	K <sub>1</sub>	Turbidez (UNT)	D (mg/l)
Americana	Rio Piracicaba	PCAB 02100	1060	1,25	53,00	22

**C** = cor da água bruta, (°H) - De acordo com o dado fornecido através do envio do questionário.

**T** = turbidez da água bruta, (UNT) - De acordo com o Relatório de Qualidade das Águas Superficiais 2009 (CETESB), junto à captação de água de Americana, na localidade de Carioba, ponto PCAB 02100.

**D** = dosagem média de coagulante (estiagem e chuvas), 22 mg/l. De acordo com o dado fornecido através do envio do questionário.

**K<sub>1</sub>** = coeficiente dado pela relação de sólidos suspensos totais e turbidez - adotado 1,25.

**K<sub>2</sub>** = coeficiente dado em função do coagulante usado, no caso sulfato de alumínio, adotado 0,26.

De acordo com essas premissas detalhadas no item procedimentos metodológicos, obteve-se as Tabelas 16 e 17, que apresentam a geração de lodo, em toneladas de lodo seco ao mês referente à sub-bacia do baixo e Alto Rio Piracicaba:

Tabela 16 - Resultados do cálculo de geração de lodos - massa de sólidos secos precipitada por metro cúbico de água tratada, para a região do Baixo Piracicaba

Sub-Bacia - Baixo Rio Piracicaba						
Cálculo da Massa de Sólidos Secos						
N.º	Município	Sub-Bacia	Orgão Gestor	Demanda Hídrica Urbana (m³/s)	S (Kg de lodo /M³ água tratada)	Geração de lodo (kg de lodo/s)
				2010		2010
1	Águas de São Pedro	Baixo Piracicaba	SABESP	0,03	0,1504	0,0045
2	Santa Maria da Serra	Baixo Piracicaba	SABESP	0,02	Poços	---
3	Charqueada	Baixo Piracicaba	SABESP	0,07	0,3084	0,0216
4	São Pedro	Baixo Piracicaba	SAESP	0,15	0,3084	0,0463
<b>Total Sub-bacia Piracicaba</b>				<b>0,56</b>	<b>----</b>	<b>0,0724</b>
<b>TOTAL ( ton de lodo seco/mês)</b>						<b>187,66</b>

**Legenda:**

Considerando que a ETA opere 24 horas por dia e 30 dias por mês

Área total do Município: Base IBGE 2000

Demanda Hídrica 2010:

Dado Levantado através de questionário de coleta de dados.

Dado obtido da população urbana - IBGE 2010 x Demanda per capita (l/hab. dia) de cada município de acordo com o Plano de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2008-2020 - Quadro 35 - Estimativa de Demanda e Consumo per capita COBRAPE .

Fator “S” de geração:

COMANA 357, considerando os parâmetros de um Rio Classe 2 (cor = 75 e turbidez = 100), já que os municípios possuem manancial de abastecimento através de barramento/represamento.

Considerando o ponto de captação no Rio Piracicaba em Piracicaba.

Tabela 17 - Resultados do cálculo de geração de lodos - massa de sólidos secos precipitada por metro cúbico de água tratada, para a região do Alto Piracicaba

Sub-Bacia - Alto Rio Piracicaba						
Cálculo da Massa de Sólidos Secos						
N.º	Município	Sub-Bacia	Orgão Gestor	Demanda Hídrica Urbana (m³/s)	S (Kg de lodo /M³ água tratada)	Geração de lodo (kg de lodo/s)
				2010		2010
1	Americana	Alto Piracicaba	DAE	0,84	0,2840	0,2385
2	Cordeirópolis	Alto Piracicaba	SAAE	0,08	0,1457	0,0117
3	Hortolândia	Alto Piracicaba	SABESP	0,57	0,2840	0,1619
4	Iracemópolis	Alto Piracicaba	PM	0,09	0,1457	0,0131
5	Limeira	Alto Piracicaba	Foz do Brasil	0,69	0,2840	0,1959
6	Nova Odessa	Alto Piracicaba	CODEN	0,19	0,1457	0,0277
7	Rio das Pedras	Alto Piracicaba	SAAE	0,13	0,1457	0,0189
8	Saltinho	Alto Piracicaba	PM	0,02	0,1457	0,0029
9	Santa Bárbara d'Oeste	Alto Piracicaba	DAE	0,79	0,1457	0,1151
<b>Total Sub-bacia do Alto Piracicaba</b>			----	<b>3,40</b>	----	<b>0,7857</b>
<b>TOTAL ( ton. de lodo seco/mês)</b>						<b>2036,53</b>

**Legenda:**

Considerando que a ETA opere 24 horas por dia e 30 dias por mês

Área total do Município: Base IBGE 2000

Demanda Hídrica 2010:

Dado Levantado através de questionário de coleta de dados.

Dado obtido da população urbana - IBGE 2010 x Demanda per capita (l/hab. dia) de cada município de acordo com o Plano de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2008-2020 - Quadro 35 - Estimativa de Demanda e Consumo per capita COBRAPE .

Fator “S” de geração:

COMANA 357, considerando os parâmetros de um Rio Classe 2 (cor = 75 e turbidez = 100), já que os municípios possuem manancial de abastecimento através de barramento/represamento.

Considerando o ponto de captação no Rio Piracicaba em Americana.

Sub-Bacia do Rio Jundiaí:

Aplicando a equação proposta por Richter obtiveram-se os resultados apresentados nas Tabelas 18 e 19.

Tabela 18 - Subsídios e características - sub-bacia do Rio Jundiaí

Nome do Município	Nome do Manancial	Nome do Ponto	Cor (° H)	K <sub>1</sub>	Turbidez (UNT)	D (mg/l)
CPL *	Rio Jundiaí	JUNA 02010	736	1,25	189,5	15,3

\*Campo Limpo Paulista

**C** = cor da água bruta, (°H) - De acordo com o dado fornecido através do envio do questionário.

**T** = turbidez da água bruta, (UNT) - De acordo com o Relatório de Qualidade das Águas Superficiais 2009 (CETESB), junto a captação de Campo Limpo Paulista, ponto JUNA 02010.

**D** = dosagem média de coagulante (estiagem e chuvas), 15,30 mg/l. De acordo com o dado fornecido através do envio do questionário.

**K<sub>1</sub>** = coeficiente dado pela relação de sólidos suspensos totais e turbidez - adotado 1,25.

**K<sub>2</sub>** = coeficiente dado em função do coagulante usado, no caso PAC, adotado 0,26.

De acordo com essas premissas detalhadas no item procedimentos metodológicos, obteve-se a Tabela 19, que apresenta a geração de lodo, em toneladas de lodo seco ao mês referente à sub-bacia do Rio Jundiaí.

Tabela 19 - Resultados do cálculo de geração de lodos - massa de sólidos secos precipitada por metro cúbico de água tratada, para a sub-bacia do Rio Jundiaí

Sub-Bacia - Rio Jundiaí						
Cálculo da Massa de Sólidos Secos						
N.º	Município	Sub-Bacia	Órgão Gestor	Demanda Hídrica Urbana (m³/s)	S (Kg de lodo /M³ água tratada)	Geração de lodo (kg de lodo/s)
				2010		2010
1	Cabreúva	Jundiaí	SABESP	0,10	0,3881	0,0388
2	Campo Limpo Paulista	Jundiaí	SABESP	0,37	0,3881	0,1436
3	Indaiatuba	Jundiaí	SAAE	0,70	0,3881	0,2716
4	Itupeva	Jundiaí	SABESP	0,11	0,3881	0,0427
5	Jundiaí	Jundiaí	DAE	1,15	0,1440	0,1656
6	Salto	Jundiaí	DAE	0,38	0,3881	0,1475
7	Várzea Paulista	Jundiaí	SABESP	0,11	0,3881	0,0427
8	Jarinu	Jundiaí	SABESP	0,03	0,3881	0,0116
<b>Total Sub-bacia do Jundiaí</b>				<b>2,93</b>	<b>----</b>	<b>0,8641</b>
<b>TOTAL (ton. de lodo seco/mês)</b>						<b>2239,75</b>

Legenda:

Considerando que a ETA opere 24 horas por dia e 30 dias por mês  
 Área total do Município: Base IBGE 2000

**Demanda Hídrica 2010:**

Dado Levantado através de questionário de coleta de dados.

Dado obtido da população urbana - IBGE 2010 x Demanda per capita (l/hab. dia) de cada município de acordo com o Plano de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2008-2020 - Quadro 35 -Estimativa de Demanda e Consumo per capita COBRAPE .

**Fator "S" de geração:**

COMANA 357, considerando os parâmetros de um Rio Classe 2 (cor = 75 e turbidez = 100), já que os municípios possuem manancial de abastecimento através de barramento/represamento.

Considerando o ponto de captação no Rio Jundiá em Campo Limpo Paulista.

Sub-Bacia do Rio Jaguari:

Para esta sub-bacia a análise foi destacada em Alto Jaguari em Bragança Paulista e Baixo Jaguari em Jaguariúna e chegou-se aos resultados apresentados nas Tabelas 20, 21, 22 e 23. Os parâmetros usados foram levantados conforme abaixo:

Tabela 20 - Subsídios e características - região do Alto Jaguari.

Nome do Município	Nome do Manancial	Nome do Ponto	Cor (° H)	K <sub>1</sub>	Turbidez (UNT)	D (mg/l)
Bragança Paulista	Rio Jaguari	JAGR 02010	119	1,25	31,5	19

**C** = cor da água bruta, (°H) - De acordo com o dado fornecido através do envio do questionário.

**T** = turbidez da água bruta, (UNT) - De acordo com o Relatório de Qualidade das Águas Superficiais 2009 (CETESB), Na captação da SABESP de Bragança Paulista, ponto JAGR 02010 (página 90), média de 31,5.

**D** = dosagem média de coagulante (estiagem e chuvas), 19 mg/l. De acordo com o dado fornecido através do envio do questionário.

**K<sub>1</sub>** = coeficiente dado pela relação de sólidos suspensos totais e turbidez - adotado 1,25.

**K<sub>2</sub>** = coeficiente dado em função do coagulante usado, no caso sulfato de alumínio, adotado 0,26.

Tabela 21 - Subsídios e características - região do Baixo Jaguari

Nome do Município	Nome do Manancial	Nome do Ponto	Cor (° H)	K <sub>1</sub>	Turbidez (UNT)	D (mg/l)
Jaguariúna	Rio Jaguari	JAGR 02300	405	1,25	43	60

**C** = cor da água bruta, (°H) - De acordo com o dado fornecido através do envio do questionário.

**T** = turbidez da água bruta, (UNT) - De acordo com o Relatório de Qualidade das Águas Superficiais 2009 (CETESB), na captação de Jaguariúna - DAE, ponto JAGR 02300 (página 90).

**D** = dosagem média de coagulante (estiagem e chuvas), 60 mg/l. De acordo com o dado fornecido através do envio do questionário.

$K_1$  = coeficiente dado pela relação de sólidos suspensos totais e turbidez - adotado 1,25.

$K_2$  = coeficiente dado em função do coagulante usado, no caso cloreto férrico, adotado 0,40.

De acordo com essas premissas detalhadas no item procedimentos metodológicos, obteve-se a tabela 22, que apresentam a geração de lodo, em toneladas de lodo seco ao mês referente à sub-bacia Alto e Baixo Rio Jaguari:

Tabela 22 - Resultados do cálculo de geração de lodos - massa de sólidos secos precipitada por metro cúbico de água tratada, para a região do Baixo Jaguari

Sub-Bacia - Baixo Jaguari						
Cálculo da Massa de Sólidos Secos						
N.º	Município	Sub-bacia	Órgão Gestor	Demanda Hídrica Urbana (m³/s)	S (Kg de lodo /M³ água tratada)	Geração de lodo (kg de lodo/s)
				2010		2010
1	Artur Nogueira	Baixo Jaguari	SAEAN	0,13	0,1588	0,0206
2	Cosmópolis	Baixo Jaguari	DAE	0,23	0,1640	0,0377
3	Holambra	Baixo Jaguari	PM	0,02	0,1640	0,0033
4	Sto A. de Posse	Baixo Jaguari	DAE	0,10	0,1588	0,0159
5	Jaguariúna	Baixo Jaguari	PM	0,16	0,1588	0,0254
<b>Total Sub-bacia do Baixo Jaguari</b>			----	<b>0,64</b>	----	<b>0,1029</b>
<b>TOTAL ( ton. de lodo seco/mês)</b>						<b>266,72</b>

Legenda:

Considerando que a ETA opere 24 horas por dia e 30 dias por mês

Área total do Município: Base IBGE 2000

Demanda Hídrica 2010:

Dado Levantado através de questionário de coleta de dados.

Dado obtido da população urbana - IBGE 2010 x Demanda per capita (1/hab. dia) de cada município de acordo com o Plano de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2008-2020 - Quadro 35 -Estimativa de Demanda e Consumo per capita COBRAPE .

Fator "S" de geração:

COMANA 357, considerando os parâmetros de um Rio Classe 2 (cor = 75 e turbidez = 100), já que os municípios possuem manancial de abastecimento através de barramento/represamento.

Considerando o ponto de captação no Rio Jaguari em Jaguariúna.

Tabela 23 - Resultados do cálculo de geração de lodos - massa de sólidos secos precipitada por metro cúbico de água tratada, para a região do Alto Jaguari

Sub-Bacia - Alto Jaguari						
Cálculo da Massa de Sólidos Secos						
N.º	Município	Sub-Bacia	Órgão Gestor	Demanda Hídrica Urbana (m³/s)	S (Kg de lodo /M³ água tratada)	Geração de lodo (kg de lodo/s)
				2010		2010
1	Bragança Paulista	Alto Jaguari	SABESP	0,36	0,0681	0,0245
2	Pedreira	Alto Jaguari	DAE	0,18	0,0681	0,0123
3	Tuiuti	Alto Jaguari	PM	0,02	Poços	---
4	Vargem	Alto Jaguari	SABESP	0,01	0,0681	0,0007
5	Pedra Bela	Alto Jaguari	SABESP	0,02	0,0681	0,0014
<b>Total Sub-bacia do Alto Jaguari</b>				<b>0,88</b>	<b>---</b>	<b>0,0389</b>
<b>TOTAL ( ton. de lodo seco/mês)</b>						<b>100,83</b>

Legenda:

Considerando que a ETA opere 24 horas por dia e 30 dias por mês

Área total do Município: Base IBGE 2000

Demanda Hídrica 2010:

Dado Levantado através de questionário de coleta de dados.

Dado obtido da população urbana - IBGE 2010 x Demanda per capita (1/hab. dia) de cada município de acordo com o Plano de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2008-2020 - Quadro 35 - Estimativa de Demanda e Consumo per capita COBRAPE .

Fator "S" de geração:

COMANA 357, considerando os parâmetros de um Rio Classe 2 (cor = 75 e turbidez = 100), já que os municípios possuem manancial de abastecimento através de barramento/represamento.

Considerando o ponto de captação no Rio Jaguari em Bragança Paulista.

Sub-Bacia do Rio Camanducaia:

Utilizou-se dos dados da captação do município de Amparo e aplicando a equação proposta por Richter chegou-se aos resultados obtidos nas Tabelas 24 e 25.

Tabela 24 - Subsídios e características - sub-bacia do Rio Camanducaia

Nome do Município	Nome do Manancial	Nome do Ponto	Cor (° H)	K <sub>1</sub>	Turbidez (UNT)	D (mg/l)
Amparo	Rio Camanducaia	CMDC 02300	40	1,25	137,5	22

C = cor da água bruta, (°H) - De acordo com o dado fornecido através do envio do questionário.

T = turbidez da água bruta, (UNT) - De acordo com o Relatório de Qualidade das Águas Superficiais 2009 (CETESB), na ponte na estrada de acesso ao bairro Climáticas da Bocaina, Km 136,8 da Rod. das Estâncias, a montante da captação de Amparo, ponto CMDC 02300.

**D** = dosagem média de coagulante (estiagem e chuvas), 22 mg/l. De acordo com o dado fornecido através do envio do questionário.

**K<sub>1</sub>** = coeficiente dado pela relação de sólidos suspensos totais e turbidez - adotado 1,25.

**K<sub>2</sub>** = coeficiente dado em função do coagulante usado, no caso sulfato de alumínio, adotado 0,26.

De acordo com essas premissas detalhadas no item procedimentos metodológicos, obteve-se a tabela 25, que apresentam a geração de lodo, em toneladas de lodo seco ao mês referente à sub-bacia do Rio Camanducaia:

Tabela 25 - Resultados do cálculo de geração de lodos - massa de sólidos secos precipitada por metro cúbico de água tratada, para a Sub-Bacia do Rio Camanducaia

Sub-Bacia - Rio Camanducaia						
Cálculo da Massa de Sólidos Secos						
N.º	Município	Sub-Bacia	Órgão Gestor	Demanda Hídrica Urbana (m³/s)	S (Kg de lodo /M³ água tratada)	Geração de lodo (kg de lodo/s)
				2010		2010
1	Amparo	Camanducaia	SAAE	0,22	0,1856	0,0408
2	Monte Alegre do Sul	Camanducaia	PM	0,02	0,1856	0,0037
3	Pinhalzinho	Camanducaia	SABESP	0,02	0,1856	0,0037
<b>Total Sub-bacia do Camanducaia</b>			----	<b>0,26</b>	----	<b>0,0483</b>
<b>TOTAL (ton. de lodo seco/mês)</b>						<b>125,08</b>

Legenda:

Considerando que a ETA opere 24 horas por dia e 30 dias por mês

Área total do Município: Base IBGE 2000

Demanda Hídrica 2010:

Dado Levantado através de questionário de coleta de dados.

Dado obtido da população urbana - IBGE 2010 x Demanda per capita (l/hab. dia) de cada município de acordo com o Plano de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2008-2020 - Quadro 35 - Estimativa de Demanda e Consumo per capita COBRAPE .

Fator “S” de geração:

Considerando o ponto de captação no Rio Camanducaia em Amparo.

Sub-Bacia do Rio Corumbataí:

Utilizou-se dos dados da captação do município de Rio Claro. Aplicando a equação proposta por Richter chegou-se aos resultados apresentados nas Tabelas 26 e 27.

Tabela 26 - Subsídios e características - sub-bacia do Rio Corumbataí

Nome do	Nome do	Nome do Ponto	Cor (º H)	K <sub>1</sub>	Turbidez	D
---------	---------	---------------	-----------	----------------	----------	---



Município	Manancial				(UNT)	(mg/l)
Rio Claro	Rio Corumb.	Cap. Rio Claro	139	1,25	36	84

\*\*Ponto não é monitorado pela CETESB. Dados do DAAE Rio Claro.

**C** = cor da água bruta, (°H) - De acordo com o dado fornecido através do envio do questionário.

**T** = turbidez da água bruta, (UNT) - Como esta captação não é monitorada pela CETESB, utilizou-se dos dados disponibilizados no questionário.

**D** = dosagem média de coagulante (estiagem e chuvas), 84 mg/l. De acordo com o dado fornecido através do questionário.

**K<sub>1</sub>** = coeficiente dado pela relação de sólidos suspensos totais e turbidez - adotado 1,25.

**K<sub>2</sub>** = coeficiente dado em função do coagulante usado, no caso cloreto férrico, adotado 0,40.

De acordo com essas premissas detalhadas no item procedimentos metodológicos, obteve-se a tabela 27, que apresentam a geração de lodo, em toneladas de lodo seco ao mês referente à sub-bacia do Rio Corumbataí:

Tabela 27 - Resultados do cálculo de geração de lodos - massa de sólidos secos precipitada por metro cúbico de água tratada, para a Sub-Bacia do Rio Corumbataí.

Sub-Bacia - Rio Corumbataí						
Cálculo da Massa de Sólidos Secos						
N.º	Município	Sub-Bacia	Órgão Gestor	Demanda Hídrica Urbana (m³/s)	S (Kg de lodo /M³ água tratada)	Geração de lodo (kg de lodo/s)
				2010		2010
1	Analândia	Corumbataí	DAE	0,02	Wetlands	----
2	Corumbataí	Corumbataí	PM	0,02	0,1064	0,0021
3	Ipeúna	Corumbataí	PM	0,03	Poços	----
4	Piracicaba	Corumbataí	SEMAE	1,87	0,1064	0,1990
5	Rio Claro	Corumbataí	DAAE	0,77	0,1064	0,0819
6	Santa Gertrudes	Corumbataí	PM	0,06	0,1064	0,0064
<b>Total Sub-bacia do Corumbataí</b>				<b>2,77</b>	<b>----</b>	<b>0,2894</b>
					<b>TOTAL ( ton de lodo seco/mês)</b>	<b>750,15</b>

Legenda:

Considerando que a ETA opere 24 horas por dia e 30 dias por mês

Área total do Município: Base IBGE 2000

Demanda Hídrica 2010:

Dado Levantado através de questionário de coleta de dados.

Dado obtido da população urbana - IBGE 2010 x Demanda per capita (l/hab. dia) de cada município de acordo com o Plano de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2008-2020 - Quadro 35 - Estimativa de Demanda e Consumo per capita COBRAPE .

Fator “S” de geração:

Considerando o ponto de captação no Rio Corumbataí em Rio Claro.

Sub-Bacia do Rio Atibaia:

Utilizou-se o ponto de captação do município de Campinas, onde se obtiveram os resultados apresentados nas Tabelas 28 e 29.

Tabela 28 - Subsídios e características - sub-bacia do Rio Atibaia

Nome do Município	Nome do Manancial	Nome do Ponto	Cor (° H)	K <sub>1</sub>	Turbidez (UNT)	D (mg/l)
Campinas	Rio Atibaia	ATIB 02065	428	1,25	96	6

C = cor da água bruta, (°H) - De acordo com o dado fornecido através do envio do questionário.

T = turbidez da água bruta, (UNT) - De acordo com o Relatório de Qualidade das Águas Superficiais 2009 (CETESB), na captação de Campinas, na divisa entre os municípios de Campinas e Valinhos, no ponto ATIB 02065.

D = dosagem média de coagulante (estiagem e chuvas), 6 mg/l. De acordo com o dado fornecido através do questionário.

K<sub>1</sub> = coeficiente dado pela relação de sólidos suspensos totais e turbidez - adotado 1,25.

K<sub>2</sub> = coeficiente dado em função do coagulante usado, no caso PAC, adotado 0,26.

De acordo com essas premissas detalhadas no item procedimentos metodológicos, obteve-se a tabela 29, que apresentam a geração de lodo, em toneladas de lodo seco ao mês referente à sub-bacia do Rio Atibaia.

Tabela 29 - Resultados do cálculo de geração de lodos - massa de sólidos secos precipitada por metro cúbico de água tratada, para a Sub-Bacia do Rio Atibaia.

Sub-Bacia - Rio Atibaia						
Cálculo da Massa de Sólidos Secos						
N.º	Município	Sub-Bacia	Órgão Gestor	Demanda Hídrica Urbana (m³/s)	S (Kg de lodo /M³ água tratada)	Geração de lodo (kg de lodo/s)
				2010		2010
1	Atibaia	Atibaia	SAAE	0,37	0,2072	0,0767
2	Bom Jesus dos Perdões	Atibaia	PM	0,05	0,1416	0,0071
3	Campinas	Atibaia	SANASA	3,5	0,2072	0,7252
4	Itatiba	Atibaia	SABESP	0,31	0,2072	0,0642
5	Joanópolis	Atibaia	SABESP	0,02	0,2072	0,0041
6	Morungaba	Atibaia	SABESP	0,03	0,2072	0,0062
7	Nazaré Paulista	Atibaia	SABESP	0,03	0,1416	0,0042
8	Paulínia	Atibaia	SABESP	0,28	0,2072	0,058
9	Piracaia	Atibaia	SABESP	0,09	0,2072	0,0186
10	Sumaré	Atibaia	DAE	0,78	0,2072	0,1616
11	Valinhos	Atibaia	DAEV	0,34	0,1416	0,0704
<b>Total Sub-bacia do Atibaia</b>			----	<b>5,79</b>	----	<b>1,1963</b>
<b>TOTAL ( ton. de lodo seco/mês)</b>						<b>3100,93</b>

Legenda:

Considerando que a ETA opere 24 horas por dia e 30 dias por mês

Área total do Município: Base IBGE 2000

Demanda Hídrica 2010:

Dado Levantado através de questionário de coleta de dados.

Dado obtido da população urbana - IBGE 2010 x Demanda per capita (l/hab. dia) de cada município de acordo com o Plano de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2008-2020 - Quadro 35 - Estimativa de Demanda e Consumo per capita COBRAPE.

Fator "S" de geração:

COMANA 357, considerando os parâmetros de um Rio Classe 2 (cor = 75 e turbidez = 100), já que os municípios possuem manancial de abastecimento total ou parcial através de barramento/represamento.

Considerando o ponto de captação no Rio Jaguari em Jaguariúna.

Bacias PCJ (58 municípios Paulistas):

Tabela 30 - Resumo da geração quantitativa de lodos oriundos de ETAs na área de estudo

Quantitativo de Geração de Lodo de ETAs na Área de Estudo por Sub-Bacia			
SUB-BACIA	Demanda Hídrica Urbana (m³/s)	Geração de lodo (base seca em ton. SS /mês) em sólidos totais secos	Geração diária de lodo (base seca em ton. SS /mês) em sólidos totais secos
	2010	2010	2010
Atibaia	5,79	3100,93	103,36
Camanducaia	0,26	125,08	4,17
Capivari	0,58	205,55	6,85
Corumbataí	0,90	750,15	25,01
Jaguari	1,53	367,55	12,25
Jundiá	2,93	2239,75	74,66
Piracicaba	5,54	2224,19	74,14
<b>TOTAL</b>	<b>17,53</b>	<b>9013,20</b>	<b>300,44</b>

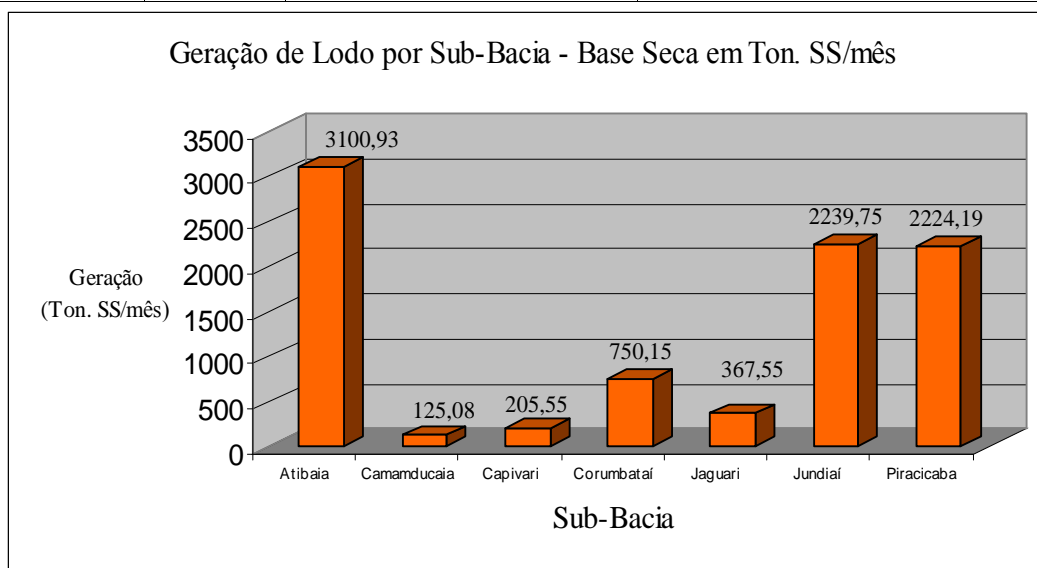


Figura 18 - Geração de lodos em ETAs, por sub-bacia, em base seca em Ton. SS/mês

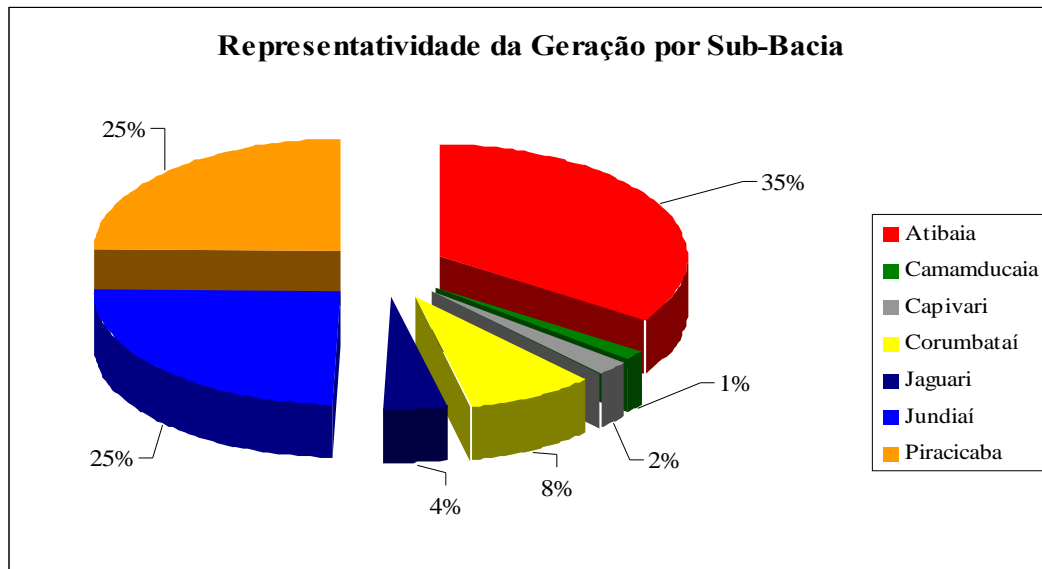


Figura 19 - Representatividade da geração de lodos por sub-bacia em percentual do total gerado.

### 5.3. Tratamento e disposição final dos lodos gerados nas ETAs da área de estudo

#### 5.3.1. Desaguamento/Tratamento dos lodos gerados

Analisando os dados obtidos quanto à presença ou não de sistemas de desaguamento/tratamento dos lodos gerados nas ETAs, observou-se que:

- Existem 89 ETAs de diferentes concepções em operação na área de estudo.
- 5 ETAs não responderam ao questionários de coleta de dados.
- 84 ETAs responderam ao questionários de coleta de dados.
- Dos questionários respondidos, 10 estações possuem algum tipo de sistema de desaguamento/tratamento dos lodos gerados.
- Dos questionários respondidos, 74 estações não possuem sistema algum de desaguamento/tratamento dos lodos gerados.

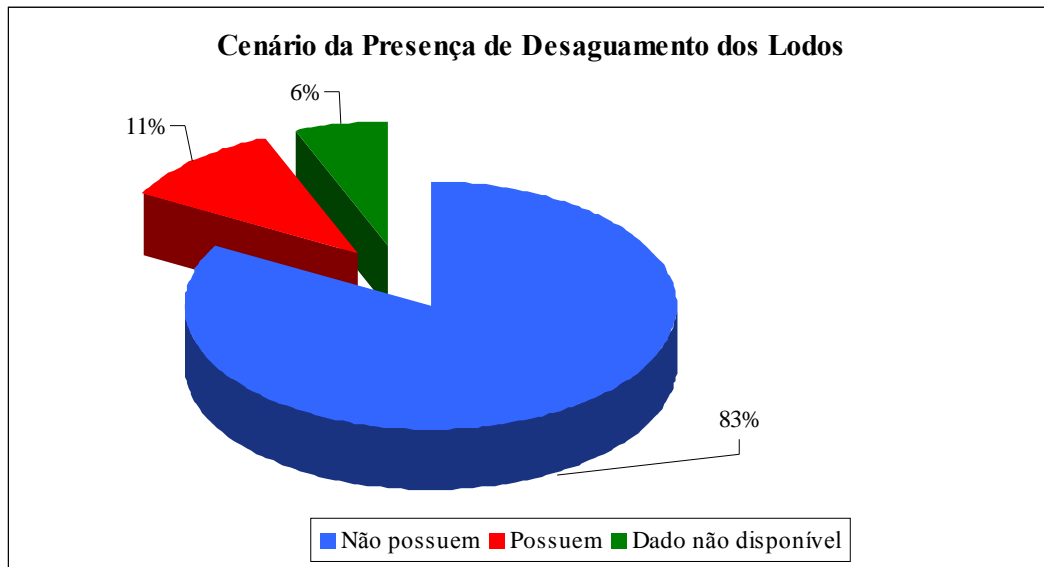


Figura 20 - Cenário da presença ou ausência de algum tipo de sistema de desaguamento de lodos de ETAs, percentualmente as 89 estações em operação nos 58 municípios.

Quanto à concepção dos 10 sistemas de desaguamento/tratamento observados pode-se determinar que:

- 1 sistema utiliza “bag”’s de geotecido.
- 5 sistemas possuem algum tipo de processo, mas não foi possível definir a concepção.
- 2 sistemas utilizam de forma combinada “bag”’s e leito de secagem.
- 1 sistema utiliza de forma combinada adensador, centrífuga separadora e leito de secagem.
- 1 sistema utiliza de forma combinada adensador e centrífuga separadora.

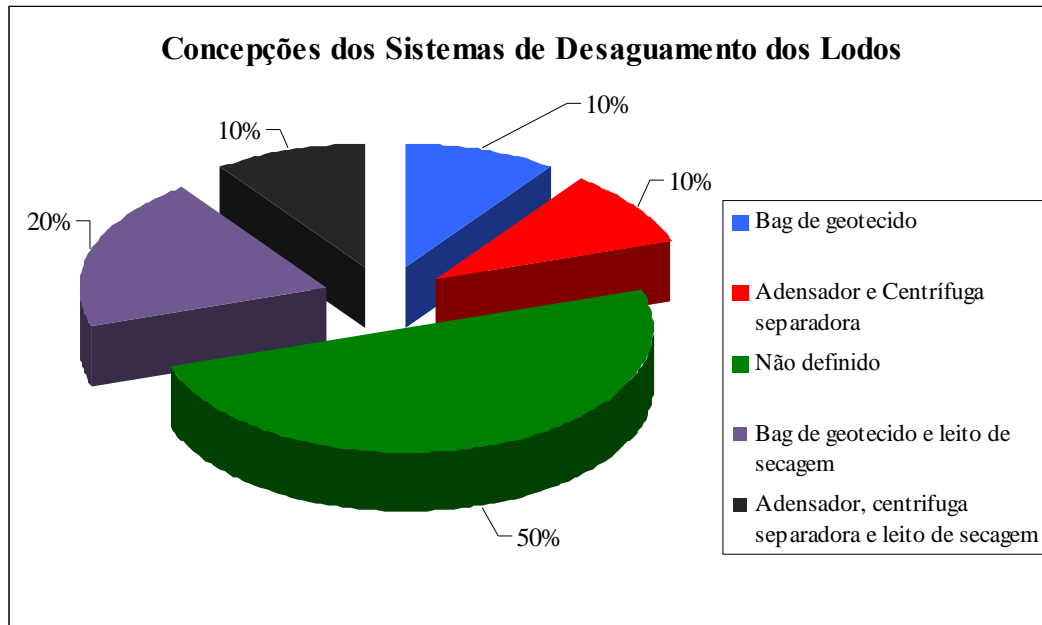


Figura 21 - Descritivo das concepções dos sistemas de desaguamento nos sistemas que possuem algum tipo de processo implantado, ou seja, 10 ETAs.

### 5.3.2. Disposição final dos lodos gerados

Analisando os dados obtidos quanto as formas de destinação final dos lodos gerados nas ETAs, observou-se que:

- 65 % das 89 ETAs em operação na área de estudo destinam o lodo gerado para algum corpo receptor como rio, córrego, ribeirão, etc.
- 6 % das 89 ETAs em operação na área de estudo enviam o lodo de ETA para tratamento na ETE, seja por caminhão limpa-fossa seja por emissário, ou ainda pelo sistema de esgotamento sanitário.
- 6 % das 89 ETAs em operação na área de estudo utilizam aterro sanitário como disposição final dos lodos gerados.
- 23 % das 89 ETAs em operação na área de estudo não disponibilizaram as informações relacionadas a essa questão específica ou se abastecem de poços, desconsiderando a geração de lodos.

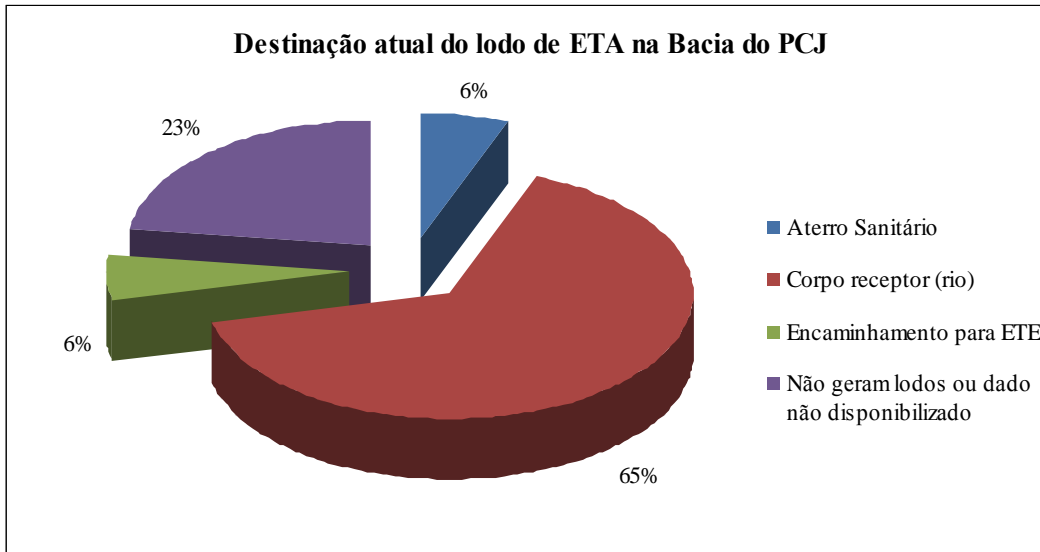


Figura 22 - Disposição final dos resíduos gerados nas ETAs.

#### 5.4. Identificação de Experiências nas Bacias PCJ

##### 5.4.1. A Experiência de Nova Odessa-SP

O município de Nova Odessa possui uma ETA convencional com uma vazão de entrada de aproximadamente 180 litros por segundo. O tratamento produz cerca de 3,0 m<sup>3</sup>/dia de lodo não desaguado. A ETA Nova Odessa possui anexa às suas instalações de tratamento de água um sistema de desaguamento com a finalidade de retirar água e secar o lodo (Figura 23). Visando adequar os processos da ETA à legislação ambiental e minimizar os custos da disposição final ambientalmente adequada, estão sendo desenvolvidos diversos testes tanto de desaguamento e desidratação quanto para de diferentes formas de destinação final (compostagem, aproveitamento agrônômico, utilização em blocos cerâmicos ecológicos).



Figura 23 - Vista Geral do Sistema de Desaguamento de lodo da ETA Nova Odessa. Fonte: BioCiclo (2010).

Segundo Pessoa (2007) a ETA de Nova Odessa possui 4 decantadores, sendo que um deles está equipado com raspador de fundo (bomba submersa e carro/trole temporizado eletronicamente para transporte e deslocamentos. Os demais são limpos convencionalmente, ou seja, dando descarga a cada sessenta dias com jateamento para remoção do lodo.

O processo de desaguamento e secagem é realizado da seguinte forma: O lodo, ao ser retirado dos decantadores (Figura 24), apresenta umidade de aproximadamente 95%. Após permanecer em repouso por 24 horas, verifica-se que cerca de 30% do volume (sobrenadante) é de água com turbidez abaixo de 5,0 UNT que pode ser retornado à calha Parshall. O lodo adensado é disposto em leitos de drenagem ou em “bag”s de polipropileno (Figuras 26 e 27), permanecendo por um período de aproximadamente 30 dias.

Segundo Pessoa (2007) o acondicionamento e adensamento do lodo em “bag”s são recomendados para espaços reduzidos, uma vez que seu volume maior fica na vertical. Após a drenagem, o “bag” com o lodo é facilmente transportado através de suas alças de sustentação até outro local para a secagem final. A seguir, o “bag” vazio é retornado ao local para um novo carregamento. Os testes demonstram que a drenagem é mais eficiente nas primeiras cargas, devendo o lodo ser repostado de forma constante, aproveitando ao máximo toda a sua



área de filtragem. Nos testes realizados pela ETA Nova Odessa, o lodo apresentou uma umidade em torno de 35% após trinta dias de desaguamento.

Os leitos de secagem foram construídos em alvenaria com aproximadamente 0,80 m de altura e declive do piso leve. O piso foi coberto com camada de 2 cm de brita n.º 1 e sobre a pedra depositada a manta de polipropileno densidade 300g/cm<sup>2</sup>, sendo o abastecimento feito por cinco dias até a estabilização do lodo, assim como ocorre nos “bag”s verticais. Após trinta dias o lodo apresenta cerca de 30 - 40% de umidade.

Transcorrido o período de permanência nos leitos de secagem ou “bag”s, o lodo apresentará uma umidade próxima a 35 - 40%, sendo retirado por máquinas para secagem final em leito por aproximadamente mais 30 dias, reduzindo sua umidade para aproximadamente 3,5% (Figuras 28 e 29).

A redução significativa da umidade torna consideravelmente menos onerosa sua disposição final em aterros sanitários. Da mesma forma, tal redução de umidade permite que o lodo possa ser aproveitado em outros processos que estão sendo testados para destinações finais como utilização agrícola e fabricação de artefatos de concreto.



Figura 24 - Decantadores para o Lodo da ETA em Nova Odessa-SP. Fonte: BioCiclo (2010).



Figura 25 - Leitos de secagem do lodo de ETA. Fonte: BioCiclo (2010).



Figura 26 - Disposição dos “bag”s verticais e abertos, sendo utilizados para o desaguamento do lodo na ETA. Fonte: Pessoa (2007).



Figura 27 - Disposição dos “bag”s verticais e abertos, sendo utilizados para o desaguamento do lodo na ETA. Fonte: Pessoa (2007).



Figura 28 - Leitos de secagem final. Fonte: BioCiclo (2010).



Figura 29 - Aparência final do lodo na ETA Nova Odessa - SP. Fonte: BioCiclo (2010).

Após o processo de secagem, o lodo com 3,5% de umidade tem sua disposição final em aterro devidamente licenciado e com CADRI com validade até 2014.

A ETA Nova Odessa está realizando testes para a utilização do lodo na confecção de blocos cerâmicos ecológicos (sem queima) e que tem apresentado excelente rendimento e qualidade dos blocos obtidos. Pretendem-se que tais blocos sejam enviados para o IPT onde serão realizados os testes necessários para atestar os parâmetros de qualidade necessários para blocos, incluindo a avaliação da melhor dosagem de lodo a ser aplicada, para subsidiar, inclusive, os procedimentos junto ao órgão ambiental para a aprovação de tal atividade junto à cerâmicas da cidade. A vantagem imediata observada em tal prática é a ausência de queima para a obtenção dos tijolos, visto que tal procedimento tem se mostrado como ponto crítico na análise de projetos de tal natureza por parte do órgão ambiental.



Figura 30 - Bloco cerâmico sem a adição de lodo e a frente com adição de lodo de ETA.  
Fonte: BioCiclo (2010).

Outros testes têm sido realizados pela ETA Nova Odessa. São testes de compostagem de lodo de ETA mais podas urbanas trituradas do município para a obtenção de um substrato para mudas produzidas pela prefeitura. Tal teste encontra-se em andamento e os resultados preliminares indicam que o composto produzido apresenta boa qualidade no momento de sua utilização.

Também está em andamento no Instituto Agrônomo de Campinas uma pesquisa que está avaliando o potencial agrônomo do lodo de ETA de Nova Odessa para a nutrição do milho. Espera-se que tal pesquisa e os resultados devam ser disponibilizados brevemente. A pesquisa científica foi motivada devido à avaliação de testes empíricos realizados pela ETA Nova Odessa que indicaram um bom custo/benefício na utilização do lodo de ETA na adubação da cultura do milho.

Outro diferencial da experiência de Nova Odessa é a utilização de “bag”s abertos em sua superfície superior, havendo desaguamento através do escoamento pela superfície inferior do “bag” e evaporação pela superior.

Observa-se pelo conjunto das iniciativas da ETA Nova Odessa, que tais trabalhos podem ser considerados uma referência dentro do contexto atual de destinação de lodos de ETA na bacia hidrográfica e tais iniciativas tem potencial para serem estabelecidas como

alternativas válidas como formas de destinação final no município de Nova Odessa ou mesmo serem replicadas para outras regiões..

#### **5.4.2. Estação de Tratamento de Lodo da ETA Capim Fino - Piracicaba**

No município de Piracicaba, a ETA Capim Fino instalou uma Estação de Tratamento de Lodo (ETL) de ETA que conta com uma local para o tratamento e um local para disposição final. Em 2010, quando da realização dessa pesquisa, a ETL ainda não estava em operação.

A ETL - Capim Fino (Figura 31) tem capacidade para tratar entre 2.000 e 4.000 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> de lodo (23 a 46 l/s) que é o volume de lodo gerado para tratar uma vazão de 1.500 l/s de água na Estação de Tratamento de Água (ETA).

Na Figura 32 é apresentado o fluxograma da ETL Capim Fino. O lodo do fundo dos decantadores é encaminhado para uma caixa de recepção (Estação Elevatória no 1 - EE 1), onde através de bombeamento é recalçada para dois adensadores mecânicos, cuja função é concentrar esse lodo entre 4 a 6% de sólidos. Após o adensamento, o lodo é enviado para uma centrífuga (Figura 34) que fará a desidratação final, aumentando concentração de sólidos para aproximadamente 25%. Após essa etapa o lodo é transportado por esteira (Figura 35) para o aterro sanitário onde se pretende dar destinação final.

A água de lavagem de filtros (ALF) é encaminhada para um tanque de clarificação (Figura 36), onde através do processo de decantação é feita a separação sólido-líquido, sendo que os sólidos juntam-se ao lodo proveniente da descarga dos decantadores e segue para o tratamento da água.

Toda a água, tanto do lodo do fundo dos decantadores, quanto da lavagem de filtros é recuperada e é reaproveitada na ETA. São utilizados polímeros para realizar o tratamento do lodo e para clarificar a ALF.

Segundo o SEMAE - Piracicaba, com o início da operação da ETL, além de minimizar o impacto causado ao Rio Corumbataí pela descarga do lodo de ETA, proporcionará o reaproveitamento de aproximadamente 57 l/s de água que antes era descartada juntamente com o lodo, representando cerca de 4% do total da vazão utilizada com a capacidade máxima de tratamento de água na ETA.



Figura 31 - Vista Geral da ETL Capim Fino em Piracicaba - São Paulo (área de disposição final do lodo ao fundo). Fonte: BioCiclo (2010).

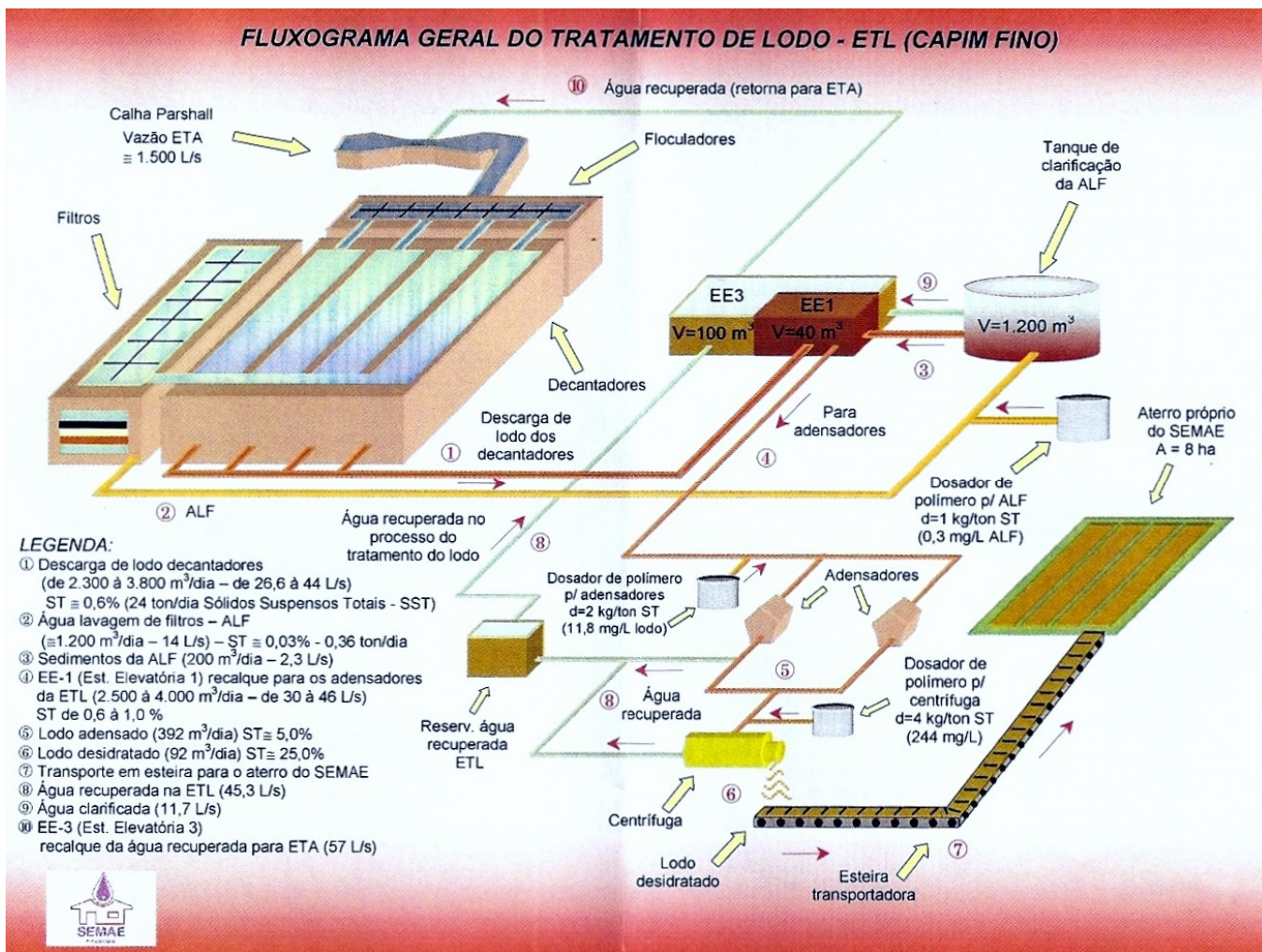


Figura 32 - Fluxograma da ETL Capim Fino no município de Piracicaba - SP. Fonte: SEMAE (2010).





Figura 33 - Foto dos Adensadores de Lodo da ETL Capim Fino. Fonte: SEMAE (2010).



Figura 34 – Foto da Centrífuga existente na ETL-Capim Fino. Fonte: BioCiclo (2010).



Figura 35 - Esteira de transporte de lodo para o aterro próprio da ETA. Fonte: BioCiclo (2010).



Figura 36 - Tanque de Clarificação da ALF da ETA Capim Fino. Fonte: BioCiclo (2010).

### 5.4.3. Estação de Tratamento de Lodo da ETA 3 e 4 - SANASA - Campinas

As maiores estações de tratamento de água da SANASA para abastecimento de Campinas/SP são denominadas ETA- 3 e ETA- 4 e estão localizadas na mesma área tratando cerca de 2,5 m<sup>3</sup>/s de água captada do rio Atibaia.

Anexa às ETAs 3 e 4 está uma ETL (Figura 37) que tem geração de aproximadamente 40 a 60 toneladas / dia de lodo de ETA desaguado com um teor de sólidos que pode variar de 10 a 30%.

Inúmeros estudos já foram realizados pela SANASA para a destinação final do lodo de ETA em blocos cerâmicos ou incorporação do lodo em matrizes de concreto, porém, segundo a empresa, até o momento, todo lodo gerado na ETL, é armazenado e transportado conforme normas ambientais e disposto em aterro sanitário licenciado para operação pela CETESB.

Nas

Figura 39 são observados os processos de adensamento e a saída do processo (desaguamento), bem como o transporte do lodo de ETA para o aterro sanitário.



Figura 37 - Vista geral da ETL das ETAs 3 e 4 em Campinas - SP. Fonte: SANASA (2010).



Figura 38 - Detalhe do tanque de adensamento da ETL na SANANA/Campinas.  
Fonte: SANASA (2010).



Figura 39 - Tanque de adensamento na ETL na SANASA/Campinas.  
Fonte: SANASA (2010).



Figura 40 - Saída do desaguamento do lodo de ETA. Fonte: SANASA (2010).



Figura 41 - Transporte via terrestre do lodo desaguado oriundo da ETA para disposição final em aterro sanitário. Fonte: SANASA (2010).

#### 5.4.4. A experiência da ETA Rio Claro-SP

Os efluentes de lavagens dos filtros e dos decantadores (Figuras 43 e 44) são enviados para um sistema de lagoas de decantação com, atualmente, 10 lagoas instaladas.

O lodo é precipitado nas três primeiras lagoas e o efluente é conduzido para as lagoas subsequentes até finalmente encontrar o corpo receptor.

O lodo de ETA depositado no fundo das lagoas, periodicamente é retirado com auxílio de máquinas e depositado ao sol para redução da umidade. Posteriormente, o lodo é enviado para aterro. Existem diversas iniciativas de estudos para novas destinações do lodo de ETA, mas ainda sem escala de atuação.



Figura 42 - Vista parcial do decantador na ETA Rio Claro - SP. Fonte: DAAE Rio Claro (2010).



Figura 43 - Vista parcial da lagoa de decantação em processo de enchimento. Fonte: DAAE Rio Claro (2010).



Figura 44 - Vista parcial da lagoa de decantação com material decantado. Fonte: DAAE Rio Claro (2010).



Figura 45 - Vista geral da secagem do lodo de ETA. Fonte: DAAE Rio Claro (2010).



Figura 46 - Detalhe da secagem do lodo de ETA. Fonte: DAAE Rio Claro (2010).



#### 5.4.5. A Experiência da SABESP na ETA Monte Mor-SP

O lodo gerado pela ETA é encaminhado para “bag”s (Figura 47) de polipropileno que estão colocados em baias de alvenaria horizontalmente. Os efluentes drenados são encaminhados para um poço de sucção e retorna ao início do tratamento (Figura ). Atualmente o lodo desaguado está sendo armazenado aguardando deliberação superior para destinação e ou disposição.

O sistema de desaguamento foi instalado em 2009 e até o momento todo o lodo desaguado continua armazenado nas instalações da ETA.

Dos quatro módulos instalados, dois estão em funcionando parcial e já foram adquiridos novos “bag”s que serão instalados após a destinação/disposição dos antigos.



Figura 47 - Vista geral dos “bag”s instalados na ETA Monte Mor - SP. Fonte: SABESP (2010).



Figura 48 - Poço de recebimento dos efluentes. Fonte: SABESP (2010).



Figura 49 - Detalhe da área de drenagem dos “bag”s. Fonte: SABESP (2010).

A Figura 50 ilustra a abertura de um dos “bag”s após o desagüamento, cabe observar que quando do “corte” para a retirada do lodo, torna o “envelope de

polipropileno” inservível e com exigências de gerenciamento como um rejeito, portanto, cabendo disposição em aterro sanitário



Figura 50 - Lodo de ETA desaguado. Fonte: SABESP (2010).

#### **5.4.6. A Experiência da SABESP na ETA SÃO JOSÉ em Itupeva-SP**

A ETA São José é um sistema de tratamento compacto responsável por uma parcela do abastecimento de Itupeva, operando sempre no período diurno. Está sendo implantado nessa ETA um sistema de desaguamento de lodo que utiliza “bag”s de polipropileno e seu funcionamento é realizado da seguinte forma: O lodo gerado na ETA é enviado para um tanque de acúmulo. O tanque de acúmulo possui um sistema de retorno do sobrenadante (ladrão), pelo qual escoar para um tanque de captação e retorna para o início do tratamento. O lodo é enviado por uma descarga de fundo para o “bag”. A previsão (dados de projeto) é que cada “bag” seja utilizado por seis meses. O efluente drenado do “bag” será enviado através de uma canaleta ao rio São José (Figura 54). Ainda não está definida a destinação final do lodo que será desaguado.



Figura 51 - Tanque de decantação do lodo na ETA Itupeva - SP. Fonte: SABESP (2010).



Figura 52 - Detalhe da saída do efluente sobrenadante que retorna ao tratamento. Fonte: SABESP (2010).



Figura 53 - Detalhe do local onde está instalado o “bag” para acondicionamento do lodo na ETA São José em Itupeva - SP. Fonte: SABESP (2010).



Figura 54 - Canaleta coletora do efluente drenado dos “bag”s. Fonte: SABESP (2010).

## 5.5. Análise Crítica dos Resultados Obtidos

Os resultados apresentados são representativos diante do horizonte de questionários enviados e que se obtiveram respostas, ainda que de forma parcial em alguns casos, necessitando a utilização de métodos teóricos, já que não existiam instrumentos, rotinas ou métodos de medição nos sistemas avaliados.

Observando os dados que demonstram que 70% das 89 ETAs em operação não possuem sistema algum de dimensionamento ou medição demonstrou a importância do presente trabalho e ao mesmo tempo exigiu a utilização de método teórico para a estimativa de geração de lodos na área de estudo.

Evidenciou-se, a partir de todos os resultados apresentados, a carência de conhecimento da realidade local e a não uniformidade entre as bases de dados e sistemas de informações como aquelas contidas nos órgãos ambientais, Planos de Bacias, Relatório de Situação e os dados primários junto aos gestores e operadores dos sistemas de abastecimento de água.

A cultura gerencial implantada ainda é focada no atendimento da demanda, sendo que os princípios da eficácia, eficiência e efetividade ainda carecem de serem incorporados aos processos de tomadas de decisões e operação. O instrumento regulação e fiscalização dos serviços de saneamento básico prevista na Política Nacional de Saneamento (Lei n.º 11.445/2007) tende a ser um “propulsor” nessa mudança conceitual.

Ressaltam-se as divergências de percepções sobre o tema entre os funcionários, para um mesmo aspecto analisado, como a própria percepção quanto a geração ou não de lodo nas ETAs, com destaque a carência de integração de informações entre o nível gerencial e o operacional nas estações.

Apesar de não constar do escopo desse trabalho, notou-se através de respostas dos questionários o não estabelecimento e convergência das políticas setoriais. Tal fato se deve em muitos casos a não percepção de que os lodos de ETAs são parte intrínseca ao processo de tratamento, inclusive, às vezes, desconsiderada tal geração.

Pode-se observar que os instrumentos de planejamento e legais, como os planos diretores de desenvolvimento, municipais de saneamento e, mais recentemente, a exigência dos instrumentos de planejamento municipal voltado ao gerenciamento de

resíduos sólidos, ainda são uma realidade a ser alcançada dentro do efetivo conceito de visão gerencial ou sistêmica.

Inicialmente, o trabalho também buscou informações qualitativas e de caracterização dos lodos gerados, porém, observou-se um cenário de ausência de análises físicas, químicas e de parâmetros existentes na Norma ABNT NBR 10.004, não sendo possível, apresentar resultados.

A dificuldade de relacionamento institucional e comunicação interna, com destaque aqueles municípios, onde existem diferentes organismos públicos ou privados responsáveis pelo saneamento municipal.

O desafio da compreensão dos impactos que os resíduos podem gerar no manancial ainda necessita ser vencido, de forma notável, na área de estudo que possui baixa disponibilidade hídrica e é altamente urbanizada e industrializada. Pode-se observar em alguns casos que ainda existe uma cultura de que “resíduos são aqueles lodos oriundos de Estações de Tratamento de Efluentes Domésticos, e aqueles oriundos de ETAs não, pois são simplesmente materiais retirados e devolvidos ao manancial de captação”.

O trabalho teve como foco principal o diagnóstico quantitativo dos resíduos gerados nas estações de tratamento de água, porém, diversos outros temas foram percebidos durante os levantamentos, como a carência de capacitação dos gestores e operadores sobre o tema. Nesse sentido, o nível de conhecimento e informações dos operadores também merece atenção, ao ponto, que a forma de operação, com destaque a dosagem dos produtos químicos, também pode resultar nas características quantitativas e qualitativas dos lodos gerados.

Em alguns casos houve sinalização dos gestores municipais, quanto às incertezas e inseguranças jurídicas das possibilidades de disposição final utilizadas atualmente e, principalmente a carência de diretrizes claras e objetivas dos organismos governamentais para o desenvolvimento de novas aplicações e soluções.

Pode-se observar o grande interesse pela temática, disposição em contribuir, busca por uma solução regional visando redução de custos e, principalmente, a exigência do cumprimento dos termos legais com enfoque ao arcabouço legislativo, promotoria pública, sociedade em geral e organismos gestores.

Por fim, quanto aos aspectos legais, os resultados evidenciaram a necessidade de adequação frente a nova realidade jurídica da Lei n.º 12.305/2010 quanto a distinção da

parcela dos lodos classificados como resíduos e outra como rejeitos, além da priorização da hierarquia de ao gerenciamento, privilegiando a reutilização e a reciclagem, sob a pena de também haver possível descumprimento da Lei n.º 9605/98 - Lei Nacional de Crimes Ambientais, da Lei n.º 6938/81 - Política Nacional de Meio Ambiente, da Resolução CONAMA 357/2005 e da Lei Estadual Paulista 997/76 e seus decretos regulamentadores.

## 6. CONCLUSÕES

Ante ao exposto pode-se concluir que:

Existem poucos trabalhos teóricos e reduzidas experiências práticas que tratam do gerenciamento dos resíduos gerados nas Estações de Tratamento de Água, com destaque, aqueles que busquem soluções regionais e enfoque sistêmico, diante de um cenário de proximidade logística entre localidades e o surgimento de diversos consórcios públicos na realidade brasileira voltados à operação de sistemas de saneamento.

Os resultados apresentados evidenciaram, através dos fatores de geração “S”, a influência da qualidade dos mananciais das áreas de estudo, nos volumes de lodos gerados nas ETAs, reforçando a necessidade da visão sistêmica e, principalmente, ações e investimento na proteção e conservação dos mananciais.

Pode-se concluir que em 70% das estações de tratamento de água inseridas na área de estudo, não possuem sistema algum de medição da geração de lodo.

As estimativas quantitativas de geração dos lodos oriundos dos 58 municípios paulistas inseridos na área de estudo são de 9013,20 toneladas de sólidos secos mensais ou 300,44 toneladas de sólidos secos por dia.

Existem poucas experiências de tratamento de lodos gerados nas ETAs na área de estudo, explicitado pelo elevado índice de ETAs que utilizam o corpo hídrico para lançamento do lodo. Ao mesmo tempo, existem novas experiências, inclusive com a utilização piloto em andamento quanto à destinação agrícola, fato notado na realidade do município de Nova Odessa.

Não foi possível verificar nos modelos tarifários a inserção do gerenciamento dos lodos de ETAs e suas etapas como parte explícita da composição de custos ou,



quando inseridas, na forma “diluída”, ou seja, com a evolução dos cenários para práticas de tratamento e gerenciamento, além da regulação do setor, os modelos tarifários adotados necessitarão de revisão.

Inicialmente, o trabalho também buscou informações qualitativas e de caracterização dos lodos gerados, visando principalmente o atendimento a nova realidade jurídica da Política Nacional de Resíduos Sólidos e seus conceitos de resíduos e rejeitos, porém, observou-se um cenário de ausência de análises e informações.

Pode-se observar que a iniciativa para a gestão dos lodos gerados nas ETAs baseia-se, de forma resumida, em duas motivações: atendimento aos requisitos legais de suas diferentes ordens, com destaque quando existe posicionamento e exigências claras dos organismos governamentais, ou quanto a redução de custos, considerando as características dos resíduos gerados e sua composição em grande parte por água do processo de tratamento.

Os resultados apresentados possibilitam e fornecem subsídios para análises regionais, por sub-bacias, com vistas a potenciais soluções regionais observando os critérios e exigências de escala de geração, logística de transporte e tópicos institucionais.

## **7. RECOMENDAÇÕES**

Diante dos resultados e conclusões apresentadas, sugere-se novos estudos e aperfeiçoamentos visando:

Implementação e ampliação de redes voltadas à capacitação dos operadores e em nível gerencial quanto a melhores práticas e visão sistêmica quanto aos sistemas de abastecimento de água, operação de estações de tratamento de água e gerenciamento dos resíduos gerados.

Identificação de fontes de financiamento em âmbito regional, bacias hidrográficas, estaduais, federal e internacional para projetos e programas de capacitação de equipes, aquisição de equipamentos, controle e atualização tecnológica nas estações de tratamento de água.

Estudos de viabilidade quanto à implantação ou mudança dos locais de captação (mananciais), considerando o fator geração de resíduos como parâmetro a ser considerado no processo decisório.

Proposição de estruturas, tecnologias ou formas de dimensionamento, ainda que simplificadas, dos lodos gerados nas ETAs, considerando as dificuldades de infraestrutura física, de recursos e de capital humano em cada realidade local.

Levantamentos dos dados qualitativos dos lodos gerados nas ETAs, tendo em vista a evolução do Índice de Qualidade das Águas - IQA/CETESB e a implantação e operação de novas estações de tratamento de efluentes domésticos.

Proposição ou adequações de modelos teóricos existentes quanto ao cálculo de geração dos lodos oriundos de ETAs, considerando os diversos parâmetros que compõem e possam influenciar de forma direta a geração sob os pontos de vistas quantitativos e qualitativos, propiciando que os operadores possam se utilizar de modelos de fácil compreensão em seu cotidiano.

Estudos tecnológicos de acompanhamento das experiências destacadas nesse trabalho, uma vez que, estão em estágio inicial, com foco nos aspectos positivos, dificuldades encontradas e aprendizados.

## **8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004. Resíduos sólidos - Classificação**. 2ª ed. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

ACHON C. L., PAPANI P.C., CORDEIRO J. S. **Análise de gestão de recursos humanos em Sistemas de Tratamento de Água (SiTAs) no Brasil**. In: International Symposium on Sanitary and Environmental Engineering., 24 a 27 de junho, Firenze, Italy. 1-8, 2008.

ALBRECHT, A.E. **Disposal of alum sludges**. Journal American Water Works Association. Lancaster, v.64, n.1, p. 46-52, Jan. 1972.

ANDREOLI, C. V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. PROSAB 2 - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico 2. Rio de Janeiro: RiMa, 2001.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA). **Water Quality and Treatment - A handbook of community water supplies**. 5a ed. MacGraw-Hill, Inc. USA., 1990

BARBOSA, R. M. et al. **A toxicidade de despejos (lodos) de estações tratamento de água: à *Daphnia similis* (cladocera, crustácea)**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre. RS. 2001.

BARROSO, M. M. **Influência das micro e macro propriedades dos lodos de estações de tratamento de águas no desaguamento por leito de drenagem**. 249p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

BARROSO, M. M. CORDEIRO, J. S. **Problemática dos metais nos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa: ABES, 2001.

BIDONE, F.R.A. **Tratamento e disposição final de resíduos sólidos domésticos**. Porto Alegre, IPH/UFRGS, 52p. (Apostila de curso d extensão). 1996.

BIOCICLO. **Relatório de Andamento I, II e III - Projeto Centrais de Lodos nas Bacias PCJ**. Campinas, 2010/2011.

BRASIL, FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE. **Manual de Saneamento: Orientações técnicas**. Brasília, 2006.

BRASIL, **Lei Federal n.º 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos,

regulamenta o inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal, e altera o artigo 1.º da Lei n.º 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n.º 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

**BRASIL, Lei Federal n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.** Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

**BRASIL, Lei Federal n.º 11.445, de 05 de janeiro de 2007.** Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.

**BRASIL, Lei Federal n.º 12.305, de 02 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

**BRASIL, Ministério da Saúde: Portaria n.º 518.** Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, 2004.

**BRASIL, MMA - Ministério do Meio Ambiente; CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.º 357.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2006.

**BRASIL, MMA - Ministério do Meio Ambiente; CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.º 375.** Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Brasília, 2006.

BROCHI, D. F. (Coord.). **Glossário de termos técnicos em gestão dos recursos hídricos**, 4. ed. Americana: Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2006.

CAMPOS, J. R. **Alternativas para tratamento de esgotos sanitários - Pré-tratamento de águas para abastecimento**. Consorcio intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Americana, 1994.

COBRAPE. **Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2008 - 2020**. Disponível em: <http://www.comitepcj.sp.gov.br/comitespcj.htm>. Acesso em: 2011.

COLORADO DEPARTMENT OF PUBLIC HEALTH AND ENVIRONMENT (CDPHE). **Domestic Sewage Sludge, 2003**. Disponível em: <http://www.cdphe.state.co.us/op/regs/waterregs/100307.pdf>. Acesso em: 04/12/2010.

COMITÊS PCJ, **Plano de Bacia Hidrográfica 2000 - 2003 / UGRHI - PCJ**. Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá - Relatório Final. 2004.

CORDEIRO, J. S. **Disposição, tratabilidade e reuso de lodos de estações de tratamento de águas**. 166 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1981.

CORDEIRO, J. S. **Importância do Tratamento e Disposição Final Adequada dos Lodos de ETAs**. In: REALI, M. A. P. Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final do Lodo de ETA. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 1999. p. 1-19.

CORDEIRO, J. S. **O problema dos lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de águas**. 342 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

**CORDEIRO, J.S. Processamento de lodos de estações de tratamento de água (ETAs). In: Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. PROSAB, Curitiba, 2001.**

CORNWELL, D. A.; BURMASTER, J. W.; FRANCIS, J. L.; FRIEDLINE Jr., J. C.; HOUCK, C.; KING, P. H.; KOCKE, W. R.; NOVAK, J. T.; ROLAN, A. T.; SAN GIACOMO, R. - **Sludge Disposal Committee. Committee Report: Research Needs for Alum Sludge Discharge. In: Journal American Water Works Association, vol. 79, n. 6, p. 99-104., 1987**

CUNHA, M. E. G. **Diagnóstico de Situação e Estudo Preliminar Técnico-Econômico do Lodo de Esgoto no Município de Campinas.** Convênio de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Projeto Biolodo. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Campinas - SP, 2003.

DI BERNARDO, A. S. **Influência das condições de aplicação de polímeros catiônicos na eficiência da floculação.** Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

FONTANA, A. O. **Sistema de leito de drenagem e sedimentador como solução para redução de volume de lodo de decantadores e reuso de água de lavagem de filtros - estudo de caso - ETA Cardoso.** 161 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos/UFSCar. São Carlos, 2004.

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

FULTON, G. P. **Recover Alum to Reduce Waste - Disposal Costs, Journal AWWA, May 1974. p. 312 - 318.**

GRANDIN, S. R. **Desidratação de lodos produzidos nas estações de tratamento de água**. 456 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992.

GODBOLD, P.; LEWIN, K.; GRAHAM, A.; BARKER, P. **The Potential Reuse of Water Utility Products as Secondary Commercial Materials (2003)**. WRC Report No.: UC 6081. Disponível em: [http://www.wrcplc.co.uk/downloads/Water\\_Utility\\_Waste\\_Recycled.pdf](http://www.wrcplc.co.uk/downloads/Water_Utility_Waste_Recycled.pdf). Acesso em: 04/12/2010.

HOPPEN, C. **Reciclagem de Lodo de ETA Centrifugado na construção civil, Método alternativo de preservação ambiental**. 2004, 149p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, UFPR, Curitiba, PR.

IRRIGART - Engenharia e Consultoria em Recursos Hídricos e Meio Ambiente. **Relatório de situação dos recursos hídricos 2004/2006 - Bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá**. Piracicaba, 2007. Disponível em [www.comitepcj.sp.gov.br](http://www.comitepcj.sp.gov.br).

ISAAC, R. L. ;MORITA, D. M. **Projeto Beta - Uso do Lodo de Estação de Tratamento de Água na Construção Civil**. Universidade Federal de Campinas - UNICAMP. Campinas - SP, 2004.

INSTITUTO DE ENGENHARIA. **Relatório de conclusões Lodos de estações de tratamento de água**. Disponível em: <[http://www.sabesp.com.br/Sabesp/filesmng.nsf/25D9BB34F9E0FAFC83257570004EC25E/\\$File/apresentacao\\_dione.pdf](http://www.sabesp.com.br/Sabesp/filesmng.nsf/25D9BB34F9E0FAFC83257570004EC25E/$File/apresentacao_dione.pdf)>. Acesso em: 02/02/2011. 2009.

LAHOZ, F. C. C. (Coord.). **Relatório de atividades 2005-2006. Plano de atuação 2007-2008**. Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2007.

MONTGOMERY, J. M. **Residuals management. In: Water Treatment Principles and Design**. New York, 1985.

MURRAY, K.; DILLON, G. (1994) **Wareworks residual management comparition of US and UK practices**, Washington, proc.

O'CONNOR, J.T. **Management of water treatment plant residues. In: Water Quality and Treatment - A handbook of public water supplies**. AWWA 3a ed., McGraw Hill Book Company, 1971.

PAPANI, P. C. **Gestão de pessoas em sistemas de tratamento de água**. 2009. 303 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Paulo UFSCAR/PPGEU, São Carlos, 2009.

PESSOA, J. H. **Gestão dos Efluentes da ETA em Nova Odessa - São Paulo, In: 1º Simpósio: Experiências em gestão de Recursos Hídricos por Bacia Hidrográfica**, São Pedro. SP, 2007

REALI, M. A. P. **Principais Características Quantitativas e Qualitativas do Lodo de ETAs**. In: REALI, M. A. P. (coord.) *Noções Gerais de Tratamento de Disposição Final de Lodos de ETA*. Rio de Janeiro: ABES / PROSAB, 1999.

REIBER, S.; KUKULL, W.; STANDISH-LEE, P. (1995). **Drinking water aluminum and bioavailability**. Journal of the American Water Works Association, 87:86-99.

RICHTER, C. A. **"Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água"**. São Paulo - SP. Blucher, 2001.

SÃO PAULO (Estado). **Lei Estadual n.º 7.663, de 30 de dezembro de 1991**. Estabelece normas de orientação a Política Estadual de Recursos Hídricos bem como o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Publicação no Diário Oficial [do Estado], São Paulo, 31 de dezembro de 1991, n.º 247, v. 101.

SARABIA, O. C. **Determinación de la Toxicidad de los Lodos Generados por una Planta Potabilizadora, Utilizando Bioensayos (2001)**. Disponível em:



<http://usuarios.lycos.es/drinkingwater/Toxicidad%20de%20lodos.pdf>. Acesso em: 08/04/2011

SARON, A., LEITE, V.M.B. **”Quantificação de Lodo em Estações de Tratamento de Água.”** In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental, João Pessoa. PB, 2001

SENGUPRTA, A.K.; SHI, B. (1992) **Selective alum recovery from clarifier sludge.** **Journal, American Water Works Association, Lancaster, Oct. v.64, n.10, p. 96-103.**

SHS - Consultoria e Projetos de Engenharia. **Plano de bacias hidrográficas 2004/2007 dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá.** São Carlos: Suprema Gráfica e Editora, 2006.

SIMPSON, A.; BURGESS, P.; COLEMAN, J. **The management of potable water treatment sludge: present situation in the UK.** In: Management of wastes from drinking water treatment, International Conference, Organised by The Chartered Institution of Water and Environmental Management, London, September 2002.

TSUTIYA, M. T. **Aproveitamento e Disposição Final de Lodos de Estações De Tratamento de Água do Estado de São Paulo,** In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.

TUNDISI, J. G.. **Recursos Hídricos no Futuro: problemas e soluções.** Estudos avançados, v.22, n.63, p.7-16, 2008.

YUZHU, W. **Condicionamento de lodo de estação de tratamento de água: estudo de caso.** São Paulo, 1996. 419p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

## **ANEXO I - Formulário para Coleta de Dados**

DIAGNÓSTICO DE GERAÇÃO DE LODOS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA - ETA

Identificação do Órgão Gestor:			
Órgão:			
Responsável pelo fornecimento das informações:			
Endereço Completo:			
Fone:		E-mail:	Site:
Município:		Estado:	
Observações:			
Informações Gerais:			
1) Possui Plano Diretor de Água e Esgoto (Saneamento): <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO			
2) Número de ETA(s) no município: _____ (unidades) <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO			
3) Das ETA(s) existentes, quantas estão operando? _____			

PREENCHER UM PARA CADA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA			
Identificação do Órgão Responsável pela Operação de Tratamento de Água			
Órgão Responsável pela Operação:			
Nome do Sistema:			
Endereço Completo:			
Fone:			
Coordenadas Geográficas/UTM:			
Responsável pelo fornecimento das informações:			
Observações:			
Informações da ETA:			
1) Qual o manancial de abastecimento (onde é feita a captação de água bruta) ?			
<input type="checkbox"/> Lago (listar Coordenadas Geográficas/UTM e nome - do lago):			
<input type="checkbox"/> Represa (listar Coordenadas Geográficas/UTM e nome - da Represa):			
<input type="checkbox"/> Rio (listar Coordenadas Geográficas/UTM e nome - do Rio):			
<input type="checkbox"/> Outros (listar):			
2) Como é o tratamento ?			
<input type="checkbox"/> ETA Convencional (correção de pH, Coagulação, Floculação, Decantação, Filtração, Desinfecção)			
<input type="checkbox"/> ETA Compacta			
<input type="checkbox"/> Outros (listar)			
3) Assinale os produtos químicos usados no tratamento			
<input type="checkbox"/> Ácido Fluorssilícico (Fluor)	<input type="checkbox"/> Carvão Ativado	<input type="checkbox"/> Hidróxido de Sódio	<input type="checkbox"/> Polifosfato de Sódio
<input type="checkbox"/> Cal Hidratada	<input type="checkbox"/> Cloreto Férrico	<input type="checkbox"/> Permanganato de Sódio	<input type="checkbox"/> Polímero Não Ionico/Catíonico
<input type="checkbox"/> Cal Virgem	<input type="checkbox"/> Gás Cloro	<input type="checkbox"/> Policloreto de Alumínio (PAC)	<input type="checkbox"/> Sulfato Férrico
<input type="checkbox"/> Carbonato de Sódio	<input type="checkbox"/> Hipoclorito de Sódio	<input type="checkbox"/> Polieletrólito	<input type="checkbox"/> Sulfato de Alumínio
<input type="checkbox"/> Outros (listar)			
4) O lodo é estocado? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO Como? (listar) _____			

PREENCHER UM PARA CADA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA					
5) Existe alguma forma de desaguar/desidratar o lodo? Se sim, indique abaixo: <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO					
<input type="checkbox"/> Adensador <input type="checkbox"/> Estabilização Química ( CAL) <input type="checkbox"/> Prensa de Esteira <input type="checkbox"/> Secador Térmico					
<input type="checkbox"/> Bag de Geotecido <input type="checkbox"/> Filtro Prensa de Placa <input type="checkbox"/> Prensa Parafuso <input type="checkbox"/> Tanque					
<input type="checkbox"/> Centrifuga Separadora <input type="checkbox"/> Leito de Secagem <input type="checkbox"/> Rio <input type="checkbox"/> Outro ( listar)					
6) Existe alguma forma de quantificar o lodo gerado? <input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO					
7) Se sim, qual a forma e a quantidade de lodo?					
8) O lodo final gerado é enviado para:					
<input type="checkbox"/> Aterro (listar)					
<input type="checkbox"/> Sistema de Esgotamento Sanitário + ETE					
<input type="checkbox"/> Corpo Receptor (Rio, lago, etc). Citar o nome e Coordenadas Geográficas (UTM)					
<input type="checkbox"/> Outro (listar)					
Análises qualitativas do lodo da ETA					
1) Possui análise / classificação do lodo?					
<input type="checkbox"/> Compostos Orgânicos <input type="checkbox"/> Metais Pesados <input type="checkbox"/> NBR 10.004-2004 (testes de massa bruta, solubilização e lixiviação)					
<input type="checkbox"/> PCI (Poder Calorífico Inferior) <input type="checkbox"/> Outro ( listar)					
Parâmetros Operacionais da ETA.			mai/ago/2009	set-dez/2009	
Parâmetros	Unidade	Ponto	Valor no período de estiagem	Valor no período chuvoso	Valor Médio
Volume de água	m <sup>3</sup>	Água Bruta (Entrada)			
Vazão Diária/Horária	m <sup>3</sup> /dia   m <sup>3</sup> /h	Água Bruta (Entrada)			
Vazão média	litros/seg.	Água Bruta (Entrada)			
Volume de água	m <sup>3</sup>	Água Tratada (Saída)			
Vazão Diária/Horária	m <sup>3</sup> /dia   m <sup>3</sup> /h	Água Tratada (Saída)			
Vazão média	litros/seg.	Água Tratada (Saída)			
Quantidade de lodo	m <sup>3</sup>   Ton.	Decantador			
Quantidade de lodo	m <sup>3</sup>   Ton.	Filtro de Areia			
Quantidade de Resíduos (outros)	m <sup>3</sup>   Ton.	Grifo "Bombas", Grade, etc.			
pH		Água Bruta (Entrada)			
		Água Tratada (Saída)			
Temperatura	°C	Água Bruta (Entrada)			
Cloro Total	mg/L	Água pré-clorada (Entrada)			
	mg/L	Água Tratada (Saída)			
Cor	mg Pt/L	Água Bruta (Entrada)			
	mg Pt/L	Água Tratada (Saída)			
Turbidez	UT	Água Bruta (Entrada)			
	UT	Água Tratada (Saída)			
Alcalinidade Total	mg/L	Água Bruta (Entrada)			
	mg/L	Água Tratada (Saída)			
Dureza Total	mg/L	Água Bruta (Entrada)			
	mg/L	Água Tratada (Saída)			
<b>Local e Data :</b>					