Campus de São Carlos

DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS GERADOS NAS
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO
COM DECANTAÇÃO PRIMÁRIA

Eraldo Henriques de Carvalho

Orientador: Prof. Tit. Luiz Di Bernardo

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrega do Trabalho: 10...17...2000

Ass.:

DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS GERADOS NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM DECANTAÇÃO PRIMÁRIA

Eraldo Henriques de Carvalho

Tese apresentada à Escola de Engenharia
de São Carlos, da Universidade de São
Paulo, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Doutor em Hidráulica
e Saneamento

ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Di Bernardo

São Carlos
2000

Class.	TESE
Cutt.	1251
Tombo	0145/00

1088846

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

C331d Carvalho, Eraldo Henriques de
Disposição de resíduos gerados nas estações de
tratamento de água em estações de tratamento de esgoto
com decantação primária / Eraldo Henriques de Carvalho.
-- São Carlos, 2000.

Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.

Área: Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Di Bernardo.

1. Disposição de resíduos. 2. Tratamento de água.
3. Tratamento de esgoto. 4. Toxicidade. 5. Sedimentação
primária. 6. Digestão de lodo. I. Título.

À minha filha Gabriela,
meu pequeno grande amor.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Luiz Di Bernardo pela orientação, pela confiança depositada em mim e, principalmente, pela clareza e objetividade sempre presentes.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo.

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e ao Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) pelo auxílio de verba essencial para o desenvolvimento dessa pesquisa.

À minha esposa Simone pela inestimada ajuda durante a parte experimental.

Ao Técnico Francisco Carlos Bergamin pelo auxílio na montagem e manutenção da instalação experimental.

Aos técnicos do Laboratório de Saneamento da EESC/USP, Cidinha, Paulo Júlio e Miguel (*"in memorium"*) pela ajuda durante a realização das análises e ensaios e pela amizade.

Aos professores Eugênio Foresti, Marcelo Zaiat e Rosana Filomena Vazoller pelas valiosas contribuições nos estudos de tratabilidade anaeróbia de lodos.

Ao professor Jurandyr Povinelli, meu primeiro orientador durante o doutorado, obrigado por todo o apoio.

Às técnicas do Laboratório de Anaeróbios da EESC/USP, Eloísa, Janja e Beth pela ajuda durante os ensaios de tratabilidade anaeróbia de lodos e pela amizade.

Aos funcionários do DAEE de Araraquara (SP), pela colaboração na coleta de amostras, em especial ao amigo e compadre Paulo Sérgio Scalize.

A todos os professores do Departamento de Hidráulica e Saneamento pela amizade, agradável convivência e, principalmente, pela contribuição à minha formação profissional.

Aos inúmeros amigos que conquistei em São Carlos, por tornar minha estadia inesquecível.

Às sempre solícitas secretárias do Departamento de Hidráulica e Saneamento, Sá, Pavi, Cecília, Valderez e Márcia, pela gentileza dispensada.

A todas as outras pessoas que de forma indireta colaboraram com o trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS.....	VI
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XI
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
RESUMO	XIV
ABSTRACT.....	XV
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 – Conceituação dos resíduos gerados nas ETAs	3
2.2 – Caracterização dos resíduos gerados nas ETAs.....	4
2.2.1 – Generalidades	4
2.2.2 - Características físicas.....	5
2.2.3 - Características químicas.....	13
2.2.4 - Características microbiológicas	18
2.2.5 – Características radioativas.....	18
2.2.6 – Quantidade	19
2.2.6.1 - Limpeza dos decantadores.....	21
2.2.6.2 - Lavagem de filtros	22
2.2.7 – Tipos de resíduos	22
2.3 - Métodos de tratamento utilizados para os resíduos de ETAs.....	23
2.3.1 - Equalização	25
2.3.2 - Condicionamento.....	26
2.3.3 - Decantação, flotação e adensamento	27
2.3.4 - Desaguamento	27
2.4 – Recirculação dos resíduos gerados nas ETAs	28
2.5 - Disposição final dos resíduos gerados nas ETAs.....	29
2.6 - Disposição nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs)	30
2.6.1 – Introdução.....	30

2.6.2 – Sistemas de transporte dos resíduos da ETA.....	32
2.6.2.1 – Tratamento preliminar dos resíduos da ETA.....	32
2.6.2.2 – Lançamento no sistema convencional de coleta de esgoto.....	35
2.6.2.3 – Sistema de transporte por caminhões	35
2.6.3 - Efeito nos processos e operações das Estações de Tratamento de Esgoto.....	36
2.6.3.1 - Generalidades	36
2.6.3.2 – Efeitos na decantação do esgoto	36
2.6.3.2.1 – Princípios de sedimentação.....	36
2.6.3.2.2 – Benefícios da adição de coagulantes	38
2.6.3.2.3 – Avaliação da eficiência da decantação primária.....	40
2.6.3.2.4 – Remoção de nutrientes.....	41
2.6.3.2.5 – Estudos de caso	44
2.6.3.3 – Efeito na Digestão de lodos.....	46
2.6.3.3.1 – Produção de lodo nas ETEs	46
2.6.3.3.2 – Efeitos na Digestão Aeróbia	47
2.6.3.3.3 – Efeitos na Digestão anaeróbia.....	48
2.6.3.3.3.1 – Testes de tratabilidade e de atividade metanogênica específica de lodos	52
2.6.3.3.4 – Estudos de caso	54
2.6.3.4 – Efeitos no tratamento biológico do esgoto.....	55
2.6.3.4.1 – Estudos de Caso	56
2.6.3.5 – Efeitos nos processo de tratamento físico do lodo	57
2.6.3.5.1 – Estudos de caso	57
2.6.4 - Legislação	59
3. MATERIAIS E MÉTODOS	65
3.1 - Introdução.....	65
3.2 – Caracterização da ETA-AP	67
3.3 - Estudos de Simulação	67
3.3.1 - Coleta de amostras dos resíduos gerados na ETA-AP e do esgoto sanitário	67
3.3.2 - Simulação dos efeitos nos decantadores primários	68
3.3.3 - Simulação do efeitos nos digestores de lodo	71

3.3.4 – Metodologias utilizadas nas análises e exames de amostras líquidas e sólidas.....	72
3.3.5 - Estudos Individuais.....	73
3.3.6 - Estudos Conjuntos	75
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	83
4.1 – Características da ETA-AP	83
4.1.1 – Capacidade e tecnologia de tratamento	83
4.1.2 – Qualidade da água bruta	84
4.1.3 – Tipos e dosagens de produtos químicos	87
4.1.4 – Procedimento de limpeza dos decantadores e filtros	88
4.1.4.1 – Variação da concentração dos resíduos durante a descarga de fundo dos decantadores e a lavagem dos filtros.....	88
4.1.4.2 – Quantidade de resíduo gerada	94
4.1.5 – Eficiência do sistema	97
4.2 – Estudos de simulação.....	98
4.2.1 – Interferências no desempenho dos decantadores primários	98
4.2.1.1 – Remoção de sólidos suspensos totais e turbidez	98
4.2.1.2 – Remoção de sólidos totais.....	107
4.2.1.3 – Remoção de sólidos voláteis totais.....	111
4.2.1.4 – Remoção de DQO	114
4.2.1.5 – Remoção de Fosfatos.....	118
4.2.1.6 – Remoção de nitrogênio.....	122
4.2.1.7 – Remoção de coliformes	125
4.2.1.8 – Fotos dos testes de sedimentação	129
4.2.2 - Interferência na digestão anaeróbia de lodos.....	134
4.2.2.1 – Concentração de metais nos lodos primários bruto e inoculado.....	134
4.2.2.2 – Microscopia ótica e Microscopia eletrônica de varredura.....	141
4.2.2.3 - Produção de metano	143
4.2.3 – Considerações sobre os efeitos no tratamento biológico da fase líquida do esgoto	150
4.2.3.1 – Metais pesados.....	150
4.2.3.2 – Alcalinidade e pH.....	154
4.2.3.3 - Cloretos	157

4.2.4 – Considerações sobre os efeitos no tratamento físico dos lodos de ETE.....	158
4.2.4.1 – Volume de lodo primário.....	158
4.2.4.2. – Concentração de sólidos totais e voláteis e densidade do lodo primário	162
4.2.4.3 – Sedimentabilidade do lodo primário.....	165
4.2.4.4 – Resistência específica e Viscosidade dos lodos primários e digeridos.....	165
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	169
ANEXO A.....	172
ANEXO B.....	174
ANEXO C.....	190
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	196

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Unidades geradoras de resíduos, em um sistema de tratamento de água do tipo Ciclo Completo.....	4
FIGURA 02 - Etapas envolvidas no tratamento dos resíduos de Estações de Tratamento de Água.	24
FIGURA 03 - Desenho esquemático de uma estação de tratamento de esgoto com decantação primária.	66
FIGURA 04 - Detalhe das colunas de sedimentação utilizadas na pesquisa.	69
FIGURA 05 - Foto da instalação experimental utilizada nos testes de sedimentação.....	70
FIGURA 06 – Organograma das atividades realizadas no ESTUDO 1	77
FIGURA 07 – Organograma das atividades realizadas no ESTUDO 2	78
FIGURA 08 – Organograma das atividades desenvolvida no ESTUDO 3.....	79
FIGURA 09 – Organograma das atividades desenvolvidas no ESTUDO 4	80
FIGURA 10 – Organograma das atividades desenvolvidas no ESTUDO 5.....	81
FIGURA 11 – Organograma das atividades desenvolvidas no ESTUDO 6	82
FIGURA 12 - Fotos da fachada do prédio administrativo e da vista parcial da ETA-AP	83
FIGURA 13 - Fotos das principais unidades de tratamento presentes na ETA-AP	84
FIGURA 14 - Variação de turbidez para a água bruta da ETA-AP	86
FIGURA 15 - Variação dos valores médios mensais de turbidez para o ano de 1995.....	86
FIGURA 16 - Consumo médio mensal de cloreto férrico e cal, em função dos valores médios mensais de turbidez da água bruta, para a ETA-AP	87

FIGURA 17 - Variação de SST e turbidez durante a descarga de fundo dos decantadores, para tempo de descarga de 2 min e SST e turbidez, após equalização, de 700 mg/L e 300 UT, respectivamente.....	89
FIGURA 18 - Variação de SST e turbidez durante a descarga de fundo dos decantadores, para tempo de descarga de 3 min, e SST e turbidez, após equalização, de 1.000 mg/L e 600 UT, respectivamente.....	89
FIGURA 19 - Variação de SST e turbidez durante a descarga de fundo dos decantadores, para tempo de descarga de 5 min, e SST e turbidez, após equalização, de 4.500 mg/L e 4.350 UT, respectivamente.....	89
FIGURA 20 - Variação de SST durante a descarga de fundo dos decantadores (SST_i = sólidos suspensos totais em um tempo qualquer e $SST_{máx}$ = valor máximo dos sólidos suspensos totais durante a descarga)	90
FIGURA 21 - Fotos ilustrando a variação da concentração de sólidos no resíduo durante a operação de descarga de fundo dos decantadores da ETA-AP	91
FIGURA 22 - Variação de SST e turbidez durante a lavagem de filtros da ETA-AP, para SST e turbidez, após equalização, de 200 mg/L e 140 UT, respectivamente	91
FIGURA 23 - Variação de SST e turbidez durante a lavagem de filtros da ETA-AP, para SST e turbidez, após equalização, de 300 mg/L e 180 UT, respectivamente	92
FIGURA 24 - Variação de SST e turbidez durante a lavagem de filtros da ETA-AP, para SST e turbidez, após equalização, de 400 mg/L e 240 UT, respectivamente	92
FIGURA 25 - Variação adimensional de SST no resíduo durante a lavagem dos filtros (SST_i = sólidos suspensos totais em um tempo qualquer e $SST_{máx}$ = valor máximo dos sólidos suspensos totais)	93
FIGURA 26 - Fotos ilustrando as diversas etapas da lavagem dos filtros da ETA-AP	94

FIGURA 27 - Variação do volume de resíduos produzidos na ETA-AP, em função do volume de água aduzida.....	95
FIGURA 28 - Variação do volume de resíduos produzidos na ETA-AP, em função dos valores médios de turbidez da água bruta.	96
FIGURA 29 – Correlação entre valores médios mensais de turbidez e valores mensais de volume de água bruta, para a ETA-AP	97
FIGURA 30 - Variação de turbidez para a água bruta e tratada da ETA-AP	97
FIGURA 31 - Fração de sólidos suspensos totais iniciais sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 1	99
FIGURA 32 - Fração da turbidez inicial sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 1	99
FIGURA 33 - Fração de sólidos suspensos totais iniciais sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 2.....	100
FIGURA 34 - Fração da turbidez inicial sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 2	100
FIGURA 35 - Fração de sólidos suspensos totais iniciais sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 3.....	101
FIGURA 36 - Fração da turbidez inicial sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 3.....	101
FIGURA 37 - Fração dos sólidos suspensos totais iniciais sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 4.....	102
FIGURA 38 - Fração da turbidez inicial sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 4	102
FIGURA 39 - Fração dos sólidos suspensos totais iniciais sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 5.....	103

FIGURA 40 - Fração da turbidez inicial sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do estudo (ESTUDO 5).....	103
FIGURA 41 - Fração da turbidez inicial sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 6.....	104
FIGURA 42 - Fração de sólidos suspensos totais inicial sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 6.....	104
FIGURA 43 - Remoção de sólidos totais para o ESTUDO 1	108
FIGURA 44 - Remoção de sólidos totais para o ESTUDO 2	108
FIGURA 45 - Remoção de sólidos totais para o ESTUDO 3	108
FIGURA 46 - Remoção de sólidos totais para o ESTUDO 4	109
FIGURA 47 - Remoção de sólidos totais para o ESTUDO 5	109
FIGURA 48 - Remoção de sólidos totais para o ESTUDO 6	109
FIGURA 49 - Remoção de sólidos voláteis totais para o ESTUDO 1	112
FIGURA 50 - Remoção de sólidos voláteis totais para o ESTUDO 2	112
FIGURA 51 - Remoção de sólidos voláteis totais para o ESTUDO 3	112
FIGURA 52 - Remoção de sólidos voláteis totais para o ESTUDO 4	113
FIGURA 53 - Remoção de sólidos voláteis totais para o ESTUDO 5	113
FIGURA 54 - Remoção de sólidos voláteis totais para o ESTUDO 6	113
FIGURA 55 - Remoção de DQO para o ESTUDO 1	115
FIGURA 56 - Remoção de DQO para o ESTUDO 2.....	115
FIGURA 57 - Remoção de DQO para o ESTUDO 3.....	115
FIGURA 58 - Remoção de DQO para o ESTUDO 4.....	116
FIGURA 59 - Remoção de DQO para o ESTUDO 5.....	116
FIGURA 60 - Remoção de DQO para o ESTUDO 6.....	116
FIGURA 61 - Remoção de fosfatos para o ESTUDO 1	119
FIGURA 62 - Remoção de fosfatos para o ESTUDO 2	119
FIGURA 63 - Remoção de fosfatos para o ESTUDO 3	119
FIGURA 64 - Remoção de fosfatos para o ESTUDO 4	120
FIGURA 65 - Remoção de fosfatos para o ESTUDO 5	120
FIGURA 66 - Remoção de fosfatos para o ESTUDO 6	120
FIGURA 67 - Remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl para o ESTUDO 1	123
FIGURA 68 - Remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl para o ESTUDO 2	123

FIGURA 69 - Remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl para o ESTUDO 3	123
FIGURA 70 - Remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl para o ESTUDO 4	124
FIGURA 71 - Remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl para o ESTUDO 5	124
FIGURA 72 - Remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl para o ESTUDO 6	124
FIGURA 73 - Remoção de coliformes totais e fecais para o ESTUDO 1.....	126
FIGURA 74 - Remoção de coliformes totais e fecais para o ESTUDO 2.....	127
FIGURA 75 - Remoção de coliformes totais e fecais para o ESTUDO 3.....	127
FIGURA 76 - Remoção de coliformes totais e fecais para o ESTUDO 4.....	128
FIGURA 77 - Remoção de coliformes totais e fecais para o ESTUDO 5.....	128
FIGURA 78 - Remoção de coliformes totais e fecais para o ESTUDO 6.....	129
FIGURA 79 – Foto do tanque de equalização de esgoto	129
FIGURA 80 – Procedimentos preliminares para os testes de sedimentação.....	130
FIGURA 81 – Foto ilustrando a agitação durante o enchimento das colunas de sedimentação com esgoto sanitário.....	131
FIGURA 82 – Frascos contendo amostras do sobrenadante das colunas, para diferentes tempos de sedimentação	131
FIGURA 83 - Fotos do teste de sedimentação para diferentes tempos de sedimentação.....	132
FIGURA 84 - Fotos ilustrando a floculação do esgoto sanitário, devido à presença de resíduos da ETA-AP.....	133
FIGURA 85 – Fotos ilustrando o incremento na produção de lodo primário, devido à introdução de resíduo da ETA-AP no esgoto bruto	133
FIGURA 86 – Fotos dos principais gêneros de bactérias metanogênicas encontradas nos lodos dos diferentes frascos-reatores	142
FIGURA 87 – Microscopia eletrônica de varredura ilustrando bacilos semelhantes a hidrogenotróficos	142
FIGURA 88 – Microscopia ótica das amostras de lodo em digestão do ESTUDO 4, indicando o possível efeito do hidróxido de ferro na formação de agregados de microrganismos.....	143
FIGURA 89 - Produção de metano para o ESTUDO 1	144
FIGURA 90 - Produção de metano para o ESTUDO 2	144
FIGURA 91 - Produção de metano para o ESTUDO 3	144
FIGURA 92 - Produção de metano para o ESTUDO 4	145
FIGURA 93 - Produção de metano para o ESTUDO 5	145
FIGURA 94 - Produção de metano para o ESTUDO 6	145

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Valores de sólidos totais para os resíduos de Estações de Tratamento de Água	6
TABELA 02 - Valores de sólidos sedimentáveis encontrados para resíduos de Estações de Tratamento de Água	7
TABELA 03 - Valores de sólidos voláteis totais encontrados para resíduos de Estações de Tratamento de Água	8
TABELA 04 - Valores de sólidos suspensos totais encontrados para resíduos de Estações de Tratamento de Água.....	9
TABELA 05 - Valores de turbidez encontrados para os resíduos de Estações de Tratamento de Água	9
TABELA 06 - Valores de resistência específica para lodos de Estações de Tratamento de Água	12
TABELA 07 - Valores de viscosidade para resíduos de Estações de Tratamento de Água	12
TABELA 08 - Caracterização química dos resíduos de Estações de Tratamento de Água.	16
TABELA 09 - Volume dos resíduos gerados nas Estações de Tratamento de Água	19
TABELA 10 - Comparação entre as eficiências de diferentes processos de separação de fases utilizados no tratamento dos resíduos de ETAs	25
TABELA 11 - Padrões de lançamento nos cursos de água, para a fase líquida dos resíduos gerados nas Estações de Tratamento de Água, de acordo com as normas norte-americanas	30
TABELA 12 - Tipos de sedimentação envolvidos no tratamento do esgoto	38

TABELA 13 - Benefícios da adição de coagulantes no desempenho da decantação do esgoto.	39
TABELA 14 - Concentrações limites íons metálicos geralmente encontrados nos resíduos de Estações de Tratamento de Água, para o processo de Lodos Ativados.	48
TABELA 15 - Concentrações inibitórias de metais pesados para as culturas puras de bactérias metanogênicas	51
TABELA 16 - Concentrações de ferro inibitórias para os processos anaeróbios	52
TABELA 17 – Interferências nas características dos lodos em digestão, devido ao lançamento direto de resíduo de ETA nos digestores de lodo.....	55
TABELA 18 - Comparação entre a tratabilidade de lodos de Estações de Tratamento de Esgoto e de Estações de Tratamento de Água.	60
TABELA 19 - Padrões de emissão de efluentes de qualquer fonte poluidora, direta ou indiretamente, nos cursos de água, segundo as legislações federal e do Estado de São Paulo.	61
TABELA 20 - Padrão de emissão de efluentes em sistemas de esgoto providos de tratamento, segundo a legislação do Estado de São Paulo	63
TABELA 21 - Caracterização da água bruta da Estação de Tratamento de Água estudada (ETA-AP)	85
TABELA 22 - Volume de resíduos gerados na ETA-AP	95
TABELA 23 - Concentração de metais encontrados nos lodos primários bruto e inoculado, no inóculo e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 1	135
TABELA 24 - Concentração de metais encontrados nos lodos primários brutos e inoculados, no inóculo e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 2	136
TABELA 25 - Concentração de metais encontrados nos lodos primários brutos e inoculados, no inóculo e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 3	137

TABELA 26 - Concentração de metais encontrados nos lodos primários brutos e inoculados, no inóculo e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 4	138
TABELA 27 - Concentração de metais encontrados nos lodos primários brutos e inoculados, no inóculo e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 5	139
TABELA 28 - Concentração de metais encontrados nos lodos primários brutos e inoculados, inóculo e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 6	140
TABELA 29 - Comparação da taxa de produção de metano para os diferentes frascos-reatores do ESTUDO 1	146
TABELA 30 - Comparação da taxa de produção de metano para os diferentes frascos-reatores do ESTUDO 2	147
TABELA 31 - Comparação da taxa de produção de metano para os diferentes frascos-reatores do ESTUDO 3	147
TABELA 32 - Comparação da taxa de produção de metano para os diferentes frascos-reatores do ESTUDO 4	148
TABELA 33 - Comparação da taxa de produção de metano para os diferentes frascos-reatores do ESTUDO 5	148
TABELA 34 - Comparação da taxa de produção de metano para os diferentes frascos-reatores do ESTUDO 6	149
TABELA 35 - Concentração de metais encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 1	151
TABELA 36 - Concentração de metais encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 2	151
TABELA 37 - Concentração de metais encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 3	152
TABELA 38 - Concentração de metais encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 4	152

TABELA 39 - Concentração de metais encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 5	153
TABELA 40 - Concentração de metais encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 6	153
TABELA 41 - Valores de Alcalinidade e pH encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e no resíduo da ETA, para o ESTUDO 1	154
TABELA 42 - Valores de Alcalinidade e pH encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e no resíduo da ETA, para o ESTUDO 2	155
TABELA 43 - Valores de Alcalinidade e pH encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e no resíduo da ETA, para o ESTUDO 3	155
TABELA 44 - Valores de Alcalinidade e pH encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e no resíduo da ETA, para o ESTUDO 4	156
TABELA 45 - Valores de Alcalinidade e pH encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e no resíduo da ETA, para o ESTUDO 5	156
TABELA 46 - Valores de Alcalinidade e pH encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e no resíduo da ETA, para o ESTUDO 6	157
TABELA 47 - Produção de lodo primário para o ESTUDO 1	159
TABELA 48 - Produção de lodo primário para o ESTUDO 2	159
TABELA 49 - Produção de lodo primário para o ESTUDO 3	160
TABELA 50 - Produção de lodo primário para o ESTUDO 4	160
TABELA 51 - Produção de lodo primário para o ESTUDO 5	161
TABELA 52 - Produção de lodo primário para o ESTUDO 6	161
TABELA 53 - Concentração de sólidos e densidade do lodo primário no final do teste de sedimentação, para o ESTUDO 1	163
TABELA 54 - Concentração de sólidos e densidade do lodo primário no final do teste de sedimentação, para o ESTUDO 2	163

TABELA 55 - Concentração de sólidos e densidade do lodo primário no final do teste de sedimentação, para o ESTUDO 3.....	163
TABELA 56 - Concentração de sólidos e densidade do lodo primário no final do teste de sedimentação, para o ESTUDO 4.....	164
TABELA 57 - Concentração de sólidos e densidade do lodo primário no final do teste de sedimentação, para o ESTUDO 5.....	164
TABELA 58 - Concentração de sólidos e densidade do lodo primário no final do teste de sedimentação, para o ESTUDO 6.....	164
TABELA 59 - Resultados de resistência específica e viscosidade para os lodos primários e digeridos do ESTUDO 1	166
TABELA 60 - Resultados de resistência específica e viscosidade para os lodos primários e digeridos do ESTUDO 2	166
TABELA 61 - Resultados de resistência específica e viscosidade para os lodos primários e digeridos do ESTUDO 3	166
TABELA 62 - Resultados de resistência específica e viscosidade para os lodos primários e digeridos do ESTUDO 4	167
TABELA 63 - Resultados de resistência específica e viscosidade para os lodos primários e digeridos do ESTUDO 5	167
TABELA 64 - Resultados de resistência específica e viscosidade para os lodos primários e digeridos para o ESTUDO 6	167

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
APHA	- American Public Health Association
ASCE	- American Society of Civil Engineers
AWWA	- American Water Works Association
AWWARF	- American Water Works Association Research Foundation
CAOPMA	- Centro de Apoio Operacional às Promotorias de Proteção do Meio Ambiente
CETESB	- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAE	- Departamento de Água de Esgoto
DBO	- Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
EAA	- Estação de Abrandamento de Água
E-mail	- Electronic Mail (Correio Eletrônico)
ETA-AP	- Estação de Tratamento de Água - Águas do Paiol
ETAs	- Estações de Tratamento de Água
ETEs	- Estações de Tratamento de Esgoto
EUA	- Estados Unidos da América
IBAMA	- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
KIWA	- Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen
Mgd	- Milhões de galões por dia
MMA	- Ministério do Meio Ambiente
NBR	- Norma Brasileira
ND	- Não Detectado
NMP	- Número mais provável
NTK	- Nitrogênio Total Kjeldahl

pH	- Potencial Hidrogeniônico
PROSAB	- Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
SABESP	- Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SST	- Sólidos Suspensos Totais
ST	- Sólidos Totais
SVT	- Sólidos Voláteis Totais
UC	- Unidade de cor
UT	- Unidade de Turbidez
WEF	- Water Environmental Federation

LISTA DE SÍMBOLOS

A	- Área
b	- Coeficiente angular da reta
C	- Concentração
D	- Densidade
P	- Pressão
Q	- Vazão
r^2	- Coeficiente de Correlação
R_{esp}	- Resistência específica à filtração
t	- Tempo
z	- Profundidade
μ	- Viscosidade

RESUMO

CARVALHO, E. H. (1999). Disposição dos resíduos gerados nas estações de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto com decantação primária. São Carlos, 1999. 224 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

No presente trabalho foram realizados estudos para verificar as interferências do lançamento de resíduos de Estações de Tratamento de Água nas Estações de Tratamento de Esgoto com decantação primária. A ETA estudada utilizava cloreto férrico como coagulante primário e possuía decantadores com descarga de fundo diária. As interferências nos decantadores primários da ETE foram simuladas por meio de testes de sedimentação e nos digestores de lodo, por meio de testes de tratabilidade anaeróbia. Testes e análises complementares também foram realizados para verificar eventuais interferências no tratamento biológico da fase líquida do esgoto e no tratamento físico da fase sólida do esgoto. Os resultados indicaram aumento na eficiência de sedimentação em consequência do aumento da quantidade e concentração do resíduo de ETA introduzido no esgoto. Obteve-se, por exemplo, um incremento de até 50% na remoção de sólidos suspensos e turbidez, 40% na de DQO e fosfatos e 30% na de nitrogênio. No entanto, obteve-se um maior volume de lodo primário, embora de menos concentrado. De acordo com os resultados dos testes de tratabilidade anaeróbia, os resíduos da ETA não foram tóxicos ao processo. Com relação ao tratamento biológico da fase líquida do esgoto e ao tratamento físico do lodo, não foram verificadas interferências significativas no desempenho dos mesmos, embora recomenda-se o desenvolvimento de pesquisas mais específicas, especialmente sobre o processo de adensamento. Pode-se concluir que resíduos similares aos gerados na ETA estudada poderão ser dispostos em ETEs com decantação primária, sem interferências prejudiciais no seu desempenho.

Palavras-chave: Disposição de resíduos, tratamento de água, tratamento de esgoto, toxicidade, sedimentação primária, digestão de lodos.

ABSTRACT

CARVALHO, E.H. (1999). Study about the disposition of Water Treatment Plants wastes into Wastewater Treatment Plants. São Carlos, 1999. 224 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

In the present work simulations studies were conducted to verify the impact of Water Treatment Plants (WTP) residuals on the performance of Wastewater Treatment Plants (WWTP). The WTP under investigation used ferric chloride as primary coagulant, was type Complete Cicle with sedimentation tanks with daily bottom discharge. The interferences in the primary sedimentation tanks were simulated using sedimentation tests, while the sludge digesters were simulated using anaerobic treatability tests. Complementary tests and analysis also were realized to verify eventual interferences in the wastewater biological treatment and in the physical treatment of the sludge. The results indicated an increment in the sedimentation efficiency caused by increasing the WTP residuals dose added into the wastewater. As WTP residuals was added at up to 225 mg dry weight solids per liter of wasterwater, the removal of solids, COD, phosphate and nitrogen, for example, increased in 50%. However, the primary tanks settled sludge volume increased considerably. According to the anaerobic treatability tests results, the WWP residuals had not toxical effects on the process, interfering positively on the methane production. Concerning the wastewater biological treatment and sludge physical treatment, no significant impacts on their performance were observed. Therefore, it can be concluded that conventional WWTP can receive similar WTP residuals as those of the WTP here studied without any negative impacts on their performance.

Keywords: residuals disposal, water treatment, wastewater treatment, toxicity, primary sedimentation, biogas digesters.

1. INTRODUÇÃO

As Estações de Tratamento de Água (ETAs) representam uma necessidade básica para as comunidades, visto que têm a finalidade de fornecer água potável, proporcionando, desta forma, melhores condições de saúde e higiene à população. Por outro lado, durante tal processo, ocorre a geração de resíduos que necessitam de tratamento e disposição final.

Historicamente, esses resíduos têm sido lançados diretamente nos cursos de água. No entanto, tal prática tem sido bastante questionada, por causa dos possíveis riscos à saúde pública e à vida aquática. Por outro lado, a maioria das ETAs ainda não dispõe de sistema de tratamento para seus resíduos, principalmente nos países menos desenvolvidos.

Atualmente, o tratamento utilizado consiste na redução do percentual de água dos resíduos, a fim de minimizar o volume a ser disposto e atender aos padrões de lançamento exigidos pelo destino final. Em alguns casos, tem-se efetuado o reaproveitamento dos resíduos, destacando-se a recirculação da fase líquida dos mesmos.

No entanto, esses sistemas de tratamento estão se tornando cada vez mais complexos e onerosos, visto que os padrões de lançamento nos cursos de água, de qualidade de água potável e de disposição final de lodos em aterros têm se tornado cada vez mais rígidos. Na verdade, não existem soluções definitivas para o problema da disposição desses resíduos, que se mostra de alta complexibilidade.

Um método de disposição alternativo que tem sido utilizado em alguns países da Europa e nos Estados Unidos é o lançamento nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), via rede coletora de esgoto ou transporte em caminhões. Tal procedimento surge como uma proposta bastante atraente, visto que elimina a implantação de sistemas de tratamento de resíduos nas ETAs. Na

pior das situações, um tratamento mais simples e de custo menor poderá ser implantado.

Entretanto, algumas interferências, benéficas ou prejudiciais, podem ocorrer no sistema de coleta de esgoto, nas unidades envolvidas no tratamento do esgoto e, até mesmo, nos corpos receptores dos resíduos líquido e sólido gerados nas ETEs, de forma que a opção por tal método deve ser criteriosamente analisada.

Na verdade, existem poucos estudos relacionados ao tema, embora a grande parte deles tenha indicado resultados favoráveis. No Brasil, até então, nenhum estudo foi realizado para verificar a viabilidade desse método de disposição.

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo verificar as interferências que possam ocorrer nas unidades presentes em ETEs que venham a receber resíduos de ETAs, especialmente nos decantadores primários e digestores de lodo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – Conceituação dos resíduos gerados nas ETAs

Neste trabalho, o termo "resíduos gerados nas Estações de Tratamento de Água (ETAs)" abrangerá somente aqueles provenientes da limpeza das unidades que compõem o sistema de tratamento de água propriamente dito, tais como: decantadores, filtros e tanques de preparação e armazenamento de produtos químicos. Os resíduos provenientes de laboratórios e da limpeza dos reservatórios de água tratada, bem como o esgoto sanitário das casas dos operadores e escritórios, não foram considerados, por apresentarem volume relativamente desprezível e gerenciamento mais simples.

Aqui, o termo "resíduo" deve ser entendido como o efluente bruto resultante da limpeza ou descarga de fundo das unidades que compõem o sistema de tratamento de água; o termo "lodo", como a fase mais concentrada do resíduo, obtida após sua decantação, flotação ou adensamento; e o termo "torta", como o material semi-sólido resultante da desaguamento do lodo.

Além disso, foi dado maior enfoque aos resíduos gerados nas estações de tratamento de águas superficiais que utilizam tecnologia de tratamento do tipo Ciclo Completo, já que são os mais volumosos e, por conseguinte, os mais problemáticos. Entenda-se como tecnologia de tratamento do tipo Ciclo Completo aquela que utiliza os processos de coagulação, floculação, decantação e filtração. Na Figura 1 encontram-se ilustradas as unidades geradoras de resíduos em um sistema de tratamento de água do tipo Ciclo Completo.

FIGURA 01 - Unidades geradoras de resíduos, em um sistema de tratamento de água do tipo Ciclo Completo.

2.2 – Caracterização dos resíduos gerados nas ETAs

2.2.1 – Generalidades

A caracterização dos resíduos gerados nas ETAs, de acordo com sua natureza física, química e microbiológica, é de fundamental importância para avaliar seus possíveis impactos ambientais e para definir os métodos e equipamentos para seu tratamento e disposição final. Na verdade, só é possível considerar algum resíduo como poluente a partir do momento em que se conhecem suas características, sua quantificação, as formas e locais de disposição final e as condições do corpo receptor. CORDEIRO (1993), em seu levantamento sobre os resíduos gerados nas ETAs brasileiras, verificou que a maioria delas não possuía dados sobre as características de seus resíduos.

As características desses resíduos variam geralmente com a qualidade da água bruta, a origem, a tecnologia de tratamento utilizada para a água bruta, o tipo e dosagem de produtos químicos empregados e o procedimento utilizado para a limpeza das unidades, de forma que não existe uma composição que possa ser considerada típica para os mesmos.

Com relação à qualidade da água bruta, durante o período das chuvas, por exemplo, pode ocorrer carreamento de partículas minerais e orgânicas para o manancial, alterando, desta forma, sua qualidade e, conseqüentemente, a dosagem de produtos químicos utilizada na ETA. As variações de temperatura

também podem ter sua parcela de contribuição, principalmente quando o manancial é uma represa ou lago, já que influenciam no crescimento de plantas e algas.

A descarga de fundo efetuada nos decantadores, por exemplo, gera resíduos menos concentrados que os obtidos durante a limpeza mecanizada e estes, por sua vez, são menos concentrados que os obtidos durante a limpeza manual (GRANDIN, 1992). Quanto maior for a relação entre a dosagem de coagulante e a concentração de sólidos presentes na água bruta, menor será a concentração de sólidos presentes nos resíduos e maior será o volume de resíduo gerado (AWWARF & KIWA, 1990).

A taxa de escoamento superficial e o mecanismo de coagulação também podem interferir nas características dos resíduos. Nas ETAs operadas com decantadores de alta taxa, por exemplo, a concentração de sólidos nos resíduos gerados durante a lavagem dos filtros é maior que a obtida nas operadas com decantadores convencionais, visto que a produção de lodo naqueles é relativamente menor. O mecanismo de adsorção e neutralização de carga geralmente resulta na formação de flocos menores e mais densos que os gerados no mecanismo de varredura e, conseqüentemente, em lodos mais facilmente desaguáveis (AWWARF & KIWA, 1990).

Desta forma, o desenvolvimento de um plano de gerenciamento para os resíduos de ETA deve envolver etapas como caracterização da forma, quantidade, e qualidade dos resíduos, identificação das opções possíveis de disposição, determinação dos requisitos impostos pelas normas, seleção das tecnologias apropriadas para tratamento dos resíduos e desenvolvimento de uma estratégia de gerenciamento que reúna metas econômicas e não econômicas estabelecidas pelo órgão responsável e gerenciador do sistema de abastecimento de água.

2.2.2 - Características físicas

A determinação das características físicas é importante para os estudos de condicionamento dos resíduos, de adensamento e desaguamento dos lodos e de transporte da torta antes de sua disposição final (ASCE, 1996).

As características físicas dos lodos podem ser divididas em macropropriedades e micropropriedades. As macropropriedades englobam parâmetros como resistência específica, taxa de sedimentação, concentração de sólidos, enquanto as micropropriedades envolvem parâmetros como tamanho e

distribuição das partículas, viscosidade e densidade. As primeiras são determinantes na seleção e dosagem ótima dos condicionantes utilizados como auxiliares dos processos de adensamento e desaguamento, na determinação do potencial de desaguamento e na estimativa da quantidade de torta gerada; enquanto as últimas, na seleção do processo utilizado para desaguamento (CORNWELL et al., 1987).

A concentração de **sólidos totais** presente nos resíduos gerados durante a lavagem dos filtros é geralmente inferior a obtida para os resíduos gerados durante a limpeza dos decantadores (ASCE, 1996). De acordo com GRANDIN (1992), estes últimos geralmente contêm de 60 a 95% dos sólidos totais produzidos em uma ETA, enquanto os primeiros de 10 a 40%. Na Tabela 1 encontram-se apresentadas as faixas de valores de sólidos totais encontradas para os resíduos de ETAs.

TABELA 01 - Valores de sólidos totais para os resíduos de Estações de Tratamento de Água

Tipo de Resíduo	Sólidos Totais (mg/L)			Fonte
	Brasil	Holanda	Estados Unidos da América	
Resíduo total	-	1.500 a 80.000 ^(b)	1.000 a 270.000 ^(a)	AWWARF & KIWA (1990)
Resíduos gerados durante a limpeza dos decantadores	30.275 ^(d)	-	-	CORDEIRO (1993)
	8.177 ^(d)	-	-	CETESB (1990)
	6.300 a 21.933 ^(a)	-	40.000 a 130.000 ^(d)	GRANDIN (1992)
	-	-	1.000 a 10.000 ^(e)	CASTRO (1997)
Resíduos gerados durante a limpeza dos filtros	14.900 a 60.794 ^(a)	-	-	CASTRO (1997)
	600 ^(a)	-	-	NEUBAUER (1968) apud CORDEIRO (1981)
	-	-	145 a 420 ^(a)	AWWARF & KIWA (1990)
	-	20 a 3.000 ^(c)	-	GRANDIN (1992)
	-	-	100 a 1.000 ^(a)	

(a) Tratamento do tipo Ciclo Completo, sais de alumínio ou ferro como coagulante primário e limpeza não especificada

(b) Tratamento do tipo Ciclo Completo, com predominância de sais de ferro como coagulante primário e limpeza não especificada

(c) Tratamento do tipo Filtração Direta, com predominância de sais de ferro como coagulante primário (inclui os resíduos das unidades de abrandamento)

(d) Tratamento do tipo Ciclo Completo, sais de alumínio ou ferro como coagulante primário e limpeza manual

(e) Tratamento do tipo Ciclo Completo, sais de alumínio ou ferro como coagulantes primário e limpeza mecanizada

De acordo os dados apresentados na Tabela 1, pode-se observar que a concentração de sólidos totais presentes nos resíduos de ETAs apresenta variação muito ampla. Nas ETAs do tipo Ciclo Completo, por exemplo, a concentração de sólidos totais presentes nos resíduos da limpeza dos decantadores pode variar desde 1.000 até 270.000 mg/L e nos resíduos da limpeza dos filtros desde 100 até 600 mg/L. Vale salientar que o mecanismo de limpeza das unidades interfere significativamente na concentração dos resíduos. Além disso, os resíduos oriundos das unidades de abrandamento são mais concentrados que os oriundos da limpeza de filtros e decantadores.

A concentração de **sólidos sedimentáveis** nos resíduos oriundos da lavagem de filtros equivale aproximadamente a metade da obtida para os resíduos da limpeza dos decantadores (CALKINS & NOVAK, 1974). Na Tabela 2 encontram-se apresentados valores de sólidos sedimentáveis encontrados para resíduos de ETAs. Também vale salientar a importância do procedimento de limpeza das unidades na concentração dos sólidos sedimentáveis desses resíduos.

TABELA 02 - Valores de sólidos sedimentáveis encontrados para resíduos de Estações de Tratamento de Água

Tipo de resíduo	Sólidos Sedimentáveis (mL/L)		Fonte
	Brasil	Estados Unidos da América	
Resíduo total	-	30 a 268 ^(a)	CALKINS & NOVACK (1973)
Resíduos gerados durante a limpeza de decantadores	710 ^(b)	-	CORDEIRO (1993)
	-	40 a 360 ^(a)	CALKINS & NOVACK (1973)
Resíduos gerados durante a lavagem de filtros	-	40 a 90 ^(a)	CALKINS & NOVACK (1973)

(a) Tecnologia de tratamento e limpeza das unidades não especificadas e sais de alumínio ou ferro como coagulante primário (após cinco dias de sedimentação)

(b) Tratamento do tipo Ciclo Completo, sais de alumínio e limpeza manual

A maior parte dos sólidos contidos nos resíduos das ETAs é inerte, de modo que a relação entre **sólidos voláteis totais** e sólidos totais é geralmente inferior a 30% (ASCE, 1996). Na Tabela 3 encontram-se apresentadas a faixas de valores de sólidos voláteis totais encontradas para os resíduos de ETAs.

A concentração de **sólidos suspensos totais** presentes nos resíduos de ETAs é geralmente proporcional à **turbidez** da água bruta, de forma que quanto

maior for a turbidez da água bruta maior será a concentração de sólidos suspensos totais nos resíduos (ASCE, 1996). Nas Tabelas 4 e 5 encontram-se apresentadas as faixas de valores de sólidos suspensos totais e turbidez encontradas para os resíduos de ETAs, respectivamente. Como se pode observar a concentração de sólidos suspensos totais para os resíduos da limpeza de decantadores pode variar desde 1.000 até 30.000 mg/L e a dos resíduos de lavagem de filtros de 40 a 800 mg/L.

TABELA 03 - Valores de sólidos voláteis totais encontrados para resíduos de Estações de Tratamento de Água

Tipo de resíduo	Sólidos Voláteis Totais			Fonte
	Brasil	Holanda	Estados Unidos da América	
Resíduo total	15 a 73% dos ST ^(b)	-	- 20 a 30% dos ST ^(b)	CORDEIRO (1993) NEUBAUER (1968) apud CORDEIRO (1993) AWWARF & KIWA (1990)
	-	-	10 a 35% dos ST ^(b)	
Resíduo gerado durante a limpeza dos decantadores	7.951mg/L ^(a)	-	-	CORDEIRO (1993) GRANDIN (1992)
	-	-	28 a 35% dos ST ^(b) . 571 a 10.166 mg/L ^(b)	
Resíduo gerado durante a lavagem de filtros	-	20 a 30% dos ST ^(b)	-	AWWARF & KIWA (1990) GRANDIN (1992)
	-	-	44 a 115 mg/L ^(b)	

(a) Tratamento do tipo Ciclo Completo, sulfato de alumínio como coagulante primário e limpeza manual

(b) Tratamento do tipo Ciclo Completo, sais de ferro ou alumínio como coagulante primário e limpeza não especificada

A determinação do **tamanho e distribuição do tamanho das partículas** presentes nos resíduos de ETAs é importante para escolha do processo e equipamentos de desaguamento. O tamanho das partículas que compõem os resíduos de ETA depende da natureza das partículas presentes na água bruta, do mecanismo e eficiência da coagulação, da eficiência da floculação, da eficiência e tipo de sedimentação e do procedimento utilizado para a limpeza das unidades.

A resistência à filtração oferecida pelos lodos tende a aumentar como consequência da diminuição do tamanho médio das partículas contidas nos mesmos. Além disso, se o lodo apresenta distribuição de partículas do tipo "bimodal", o fenômeno de colmatação da superfície filtrante é mais significativo,

aumento, desta forma, a resistência à filtração (ASCE, 1996). Este fenômeno é mais frequente nos lodos de ETEs.

TABELA 04 - Valores de sólidos suspensos totais encontrados para resíduos de Estações de Tratamento de Água

Tipo de Resíduo	Sólidos Suspensos Totais			Fonte
	Brasil	Inglaterra	Estados Unidos da América	
Resíduo total	-	-	75 a 99% dos ST ^(b)	AWWARF & KIWA (1990)
Resíduo gerado durante a limpeza dos decantadores	27.891 mg/L ^(a)	-	-	CORDEIRO (1993)
	-	-	75% dos ST ^(c)	ALBRECHT (1972) apud CORDEIRO (1993)
	-	-	1.110 a 19.044 mg/L ^(b) 1.100 a 14.000 mg/L ^(c)	GRANDIN (1992) CORDEIRO (1981)
Resíduo gerado durante a limpeza dos filtros	-	100 a 500 mg/L ^(c)	-	FULTON (1973)
	-	-	40 a 800 mg/L ^(c)	CORDEIRO (1981)
	-	-	47 a 104 mg/L ^(b)	GRANDIN (1992)
	-	-	50 a 400 mg/L ^(c)	ASCE (1996)

(a) Tratamento do tipo Ciclo Completo, sais de alumínio como coagulante primário e limpeza manual

(b) Tecnologia de tratamento não especificada e sais de alumínio como coagulante primário

(c) Tecnologia de tratamento e coagulante não especificados

TABELA 05 - Valores de turbidez encontrados para os resíduos de Estações de Tratamento de Água

Tipo de resíduo	Turbidez ^(a) (UT)		Fonte
	Brasil	Estados Unidos da América	
Resíduos gerados durante a limpeza de decantadores	4.800	1.200 a 6.400	GRANDIN (1992)
	3.800	-	CORDEIRO (1993)
Resíduos gerados durante a lavagem de filtros	30	15 a 350	GRANDIN (1992)

(a) Tecnologia de tratamento e coagulantes não especificados

CORDEIRO (1993) verificou que mais de 60% das partículas presentes nos resíduos de ETAs apresentaram diâmetro inferior a 20 µm. A ETA utilizava sulfato de alumínio como coagulante primário e possuía tecnologia de tratamento do tipo

Ciclo Completo com decantadores convencionais. Segundo o autor, o tamanho e distribuição das partículas presentes nos lodos podem ter sido responsáveis pela dificuldade de remoção de água nos mesmos. De acordo com a ASCE (1996), as partículas presentes nos resíduos de ETAs que utilizam sais de alumínio geralmente apresentam diâmetro médio inferior a 20 μm .

KNOCKE & WAKELAND¹ apud CORNWELL et al. (1987) verificaram que essas partículas possuíam **forma** elíptica. Para resíduos não condicionados, o diâmetro variou entre 5 e 50 μm ; enquanto para resíduos condicionados, entre 5 e 100 μm . A adição de condicionantes pode resultar no aumento do tamanho das partículas e, conseqüentemente, na diminuição da resistência específica do lodo (ASCE, 1996).

A **resistência específica**, ou seja, resistência à passagem de um líquido através de uma massa sólida, tem sido um parâmetro muito utilizado para estimar a taxa de desaguamento dos resíduos de ETA. Este parâmetro também tem sido muito utilizado para seleção do processo de desaguamento e nos estudos de otimização do condicionamento desses resíduos (ASCE, 1996).

De acordo com CORNWELL et al. (1987), a resistência específica pode ser calculada pela seguinte equação:

$$R_{esp} = \frac{2bPA^2}{\mu C} \quad (1)$$

em que,

R_{esp} = Resistência específica à filtração

b = Coeficiente angular da reta t/V versus V

V = Volume filtrado

t = Tempo relativo a um volume filtrado qualquer

P = Pressão aplicada (vácuo)

A = Área superficial da membrana filtrante

μ = Viscosidade do filtrado

C = Sólidos suspensos totais da amostra

Os resultados dos testes de resistência específica dependem de fatores como o volume da amostra, concentração de sólidos suspensos totais da amostra, temperatura, área filtrante e vácuo aplicado. Para amostras com teor de sólidos

¹ KNOCKE, W.R.; WAKELAND, D.L. (1983) Fundamental Characteristics of Water Treatment Plant Sludges. Journal of American Water Works Association, n. 75, v. 10, p. 516.

acima de 0,5% (aproximadamente 5.000 mg ST/L), os valores de resistência específica são independentes da concentração das amostras. Com relação à pressão aplicada, geralmente tem-se utilizado 0,5 atm (GRANDIN, 1992).

Como a resistência específica depende da pressão aplicada e do gradiente de velocidade durante a adição de condicionantes, seus valores são mais utilizados como um índice de desaguamento do que como uma propriedade real do lodo (ASCE, 1996).

De acordo com o levantamento bibliográfico efetuado por CORDEIRO (1993), a resistência específica diminui como consequência do aumento do diâmetro das partículas e do aumento da porosidade dos lodos. Para lodos de mesma porosidade, quanto menor for o diâmetro das partículas, maior será a resistência específica. Lodos com baixa porosidade possuem canais intersticiais estreitos e, por conseguinte, apresentam maior resistência específica.

Lodos com resistência específica superior a 10^{13} m/kg são considerados de difícil desaguamento, enquanto que lodos com resistência inferior a 10^2 m/kg são considerados de fácil desaguamento (ASCE, 1996). Na Tabela 6 encontram-se apresentados valores de resistência específica para lodos de ETAs.

A **viscosidade** também é um parâmetro muito útil para avaliar as possibilidades de coleta, transporte e bombeamento dos resíduos de ETA. Sua medida faz-se necessária para o cálculo da perda de carga nas tubulações, que, na prática, apresenta certa dificuldade, visto que, diferentemente da água, esses resíduos geralmente não se comportam como fluidos Newtonianos (ASCE, 1996).

Para os fluidos Newtonianos (água, por exemplo), a viscosidade independe do gradiente de velocidade e valem as equações convencionalmente utilizadas para o cálculo da perda de carga nas tubulações (Darcy-Weisbach, por exemplo). Os resíduos de ETAs, como a maioria dos fluidos, não são Newtonianos e a perda de carga resultante do transporte dos mesmos nas tubulações pode ser muito superior a obtida para a água.

Segundo a AWWA & KIWA (1990), para os resíduos de ETA, a perda de carga nas tubulações pode ser estimada multiplicando-se o resultado obtido pela equação de Hazen-Williams por um coeficiente de correção (fator de correção de Sanks). Este coeficiente depende da velocidade e da concentração de sólidos totais no resíduo.

TABELA 06 - Valores de resistência específica para lodos de Estações de Tratamento de Água

Tipo de lodo	Resistência específica (m/kg)×10 ¹¹			Fonte
	Brasil	Holanda	Estados Unidos da América	
Lodo total	-	50 a 70 ^(b)	-	AWWARF & KIWA (1990)
Lodo da limpeza dos Decantadores	- 0,0001 ^(a)	- -	16,4 ^(a) 4 a 14,8 ^(b) - 50 a 500 ^(d)	CALKINS & NOVACK (1973) CORDEIRO (1993) GRANDIN (1992)
Lodos da lavagem de filtros	117 a 232 ^(g)		7,7 a 12,2 ^(b) 0,6 a 1,32 ^(c) 60 a 120 ^(e) 15 ^(f)	CALKINS & NOVACK (1973) GRANDIN (1992) SOUZA FILHO (1998)

(a) Lodos a base de sais de alumínio

(b) Lodos a base de sais de ferro

(c) Lodos a base de alumínio e cal

(d) Coagulante não especificado

(e) Sem condicionamento químico e coagulante não especificado

(f) Com condicionamento químico e coagulante não especificado

(g) Lodos da clarificação das águas de lavagem de filtros

De acordo com CORNWELL et al. (1987) os resíduos de ETA são tixotrópicos, ou seja, são líquidos não newtonianos que no final do cisalhamento só recuperam sua viscosidade inicial após determinado período de tempo. Segundo CALKINS & NOVAK (1974), quanto mais concentrado o resíduo, maior sua viscosidade. Na Tabela 7 encontram-se apresentados valores de viscosidade encontrados para resíduos de ETA.

TABELA 07 - Valores de viscosidade para resíduos de Estações de Tratamento de Água

Concentração de sólidos totais (mg/L)	Viscosidade (g/cm.s)
10.000	0,01
12.000	0,0347
18.800	0,0458
25.800	0,0583
32.700	0,111

Fonte: GATTES (1968)

A determinação da **densidade** da torta gerada nas ETAs é importante para avaliar seu grau de compactação nos aterros sanitários ou industriais e para estimar a vida útil dos mesmos. A densidade é geralmente proporcional à concentração de sólidos presentes na água bruta e seu valor diminui com o teor de umidade na torta.

De acordo com a AWWARF & KIWA (1990), para resíduos com teor de sólidos inferior a 50%, geradas em ETAs de Ciclo Completo, a densidade pode ser estimada através da equação desenvolvida por MONTGOMERY²:

$$D = \frac{100}{\frac{ST(\%)}{D_s} + \frac{100 - ST(\%)}{D_A}} \quad (2)$$

em que,

D = densidade do resíduo (kg/m^3);

$ST(\%)$ = percentual de sólidos totais no resíduo;

D_s = densidade dos sólidos (kg/m^3);

D_A = densidade da água (kg/m^3).

Empregando-se sais de ferro ou alumínio como coagulante primário, D_s possui valor típico de 2.500 kg/m^3 . Resíduos com teor de sólidos inferior a 1% (aproximadamente 10.000 mg ST/L) apresentam densidade próxima à da água, enquanto tortas com bom grau de desaguamento, apresentam densidade em torno de 1.700 kg/m^3 (ASCE, 1996).

Quanto maior for a quantidade de matéria orgânica presente nos flocos, menores serão a densidade, a taxa de desaguamento e a concentração de sólidos na torta. Despendendo da quantidade de matéria orgânica total incorporada nos flocos, a densidade dos mesmos pode variar entre 1.260 e 1.300 kg/m^3 , quando se utilizam sais de ferro. Resíduos a base de alumínio possuem flocos com densidade entre 1.140 e 1.220 kg/m^3 (ASCE, 1996).

2.2.3 - Características químicas

Atualmente, tem-se dado mais importância aos constituintes químicos presentes nos resíduos de ETAs, já que os padrões de disposição final para os

² MONTGOMERY, J.M. (1985) Wasserwerksschlamm: ein zusätzliches Problem für die Versorgungsunternehmen in den Niederlanden. GWF - Wasser/Abwasser, 126:10:513.

mesmos têm se tornado mais rígidos. Nos países mais desenvolvidos, por exemplo, são realizadas análises rotineiras para classificar esses resíduos de acordo com seu grau de periculosidade, antes de sua disposição final (AWWARF & KIWA, 1990).

As características químicas interferem mais na seleção do método de disposição final e nos estudos de reaproveitamento dos resíduos do que nos processos de manejo, adensamento e desaguamento (ASCE, 1996). Concentração de metais pesados, pH, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, difração de raio X, nitrogênio e fósforo são exemplos de parâmetros utilizados para caracterizar quimicamente os resíduos de ETAs.

Essas características dependem da qualidade da água bruta, dos produtos químicos utilizados e seus contaminantes, das reações ocorridas durante o processo, da eficiência da ETA e do procedimento utilizado para limpeza das unidades. Para os decantadores convencionais, cuja limpeza é efetuada manualmente, o tempo de retenção do lodo também influencia nas características químicas dos resíduos gerados nas ETAs.

Pode-se encontrar, como parte constituinte dos resíduos de ETA, hidróxidos de ferro ou alumínio; partículas inorgânicas como argila, siltes e areia; colóides; microrganismos; substâncias orgânicas e inorgânicas; polímeros sintéticos ou naturais; carvão ativado; corretores de pH e de alcalinidade; e água, que é seu principal constituinte (97 a 99,9%).

Os produtos químicos utilizados nas ETAs geralmente contêm quantidades significantes de metais pesados. De acordo com a APHA et al. (1995), o termo metal pesado, refere-se a todo metal cuja densidade é superior a 5.000 kg/m³. Estima-se que de 20 a 92% dos sólidos contidos nos resíduos de ETAs resultam da adição de produtos químicos na água bruta. Desta forma, esses contaminantes podem ter grande influência nas características químicas dos resíduos, na qualidade da água tratada e na seleção do método de disposição final.

A concentração dos contaminantes presentes nos produtos químicos pode variar consideravelmente entre os fabricantes. DIXON et al.³ apud AWWARF & KIWA (1990) verificaram que a concentração de cromo presente no cloreto férrico utilizado em diferentes ETAs variou entre 148 e 568 mg/kg. Ainda mais agravante

³ DIXON, K.L. et al. (1988) Water Treatment Plant Residuals: A Management Strategy for the Pennsylvania Region. American Water Works Service Company, Voorhees, N.J.

é que, para o mesmo fabricante, a concentração de zinco variou entre 0,5 e 7.990 mg/kg. Segundo a AWWARF & KIWA (1990), os produtos químicos podem ser responsáveis por 100% das concentrações de cromo, cobre e chumbo contidas nos resíduos de ETAs. Desta forma, a concentração de metais presente nesses resíduos pode ser minimizada selecionando-se um produto químico de boa qualidade, ou seja, com baixo teor de impurezas. A concentração total de cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco presente nos lodos de ETAs situa-se geralmente entre 10 e 35% da obtida para lodos de ETEs.

Nos resíduos de ETAs, os metais podem se encontrar ligados à matéria orgânica (cádmio, por exemplo), ou a óxidos de ferro e manganês (cromo, cobre, níquel e zinco, por exemplo). O cádmio, quando ligado à matéria orgânica, apresenta grande mobilidade no solo. No entanto, felizmente, sua concentração nos lodos de ETAs é baixa. Com relação aos metais ligados a óxidos de ferro e manganês, sua liberação ocorre somente em condições ambientais extremas, de forma que são pouco reativos. As variações de pH, potencial redox e atividade microbiana, a salinidade do meio e a presença de substâncias formadoras de complexos são fatores que influenciam na mobilidade dos metais no solo (AWWARF & KIWA, 1990).

A mobilidade dos metais geralmente aumenta em consequência do declínio do pH. Quando em concentrações traço, os metais são praticamente insolúveis para pH neutro. Porém, em meios ácidos, pode ocorrer a “quebra” de carbonatos e hidróxidos, liberando, conseqüentemente, esses metais para o meio. Em meio oxidante, levemente ácido ou básico, metais como o níquel, cádmio, cobre e zinco são os mais instáveis, o que lhes confere maior mobilidade, enquanto o chumbo, cromo e arsênico são os de menor mobilidade. A influência do pH na mobilidade do cádmio, zinco, cobre e chumbo pode ser verificada através da seguinte equivalência: $Cd > Zn > Cu > Pb$ (AWWARF & KIWA, 1990).

Quando o lodo fica muito tempo retido nos decantadores, seus potenciais hidrogeniônico e redox podem sofrer alterações, em consequência da degradação da matéria orgânica presente no mesmo. No caso das lagoas de lodo, por exemplo, alterações desses potenciais fazem com que o lodo libere metais, amônia e DQO (AWWARF & KIWA, 1990). De acordo com a ASCE (1996), os metais pesados concentram-se geralmente na fase sólida dos resíduos de ETAs ou ETEs.

Segundo a ASCE (1996), 80% dos metais presentes nos resíduos de ETA encontram-se incorporados a óxidos ou silicatos, de forma que sua mobilidade só seria significativa em condições de pH muito baixo (pH inferior a 2,5) ou alternância entre processos aeróbios e anaeróbios (ambientes anóxicos). A difração de raio X indica como o metal pesado encontra-se complexado, de forma a subsidiar os estudos de mobilidade dos metais.

Por outro lado, os mananciais, principalmente os superficiais, estão sujeitos à contaminação natural, bem como a uma grande variedade de contaminantes agrícolas e industriais. Este aspecto tem grande importância, já que essas substâncias podem estar presentes nos resíduos de ETAs. No caso da disposição em cursos de água, as características químicas e biológicas dos mesmos também influenciam na toxicidade potencial desses resíduos (CORDEIRO, 1993).

Os sólidos suspensos fixos presentes nos resíduos de ETAs geralmente são compostos por precipitados de hidróxido de alumínio ou ferro, os quais conferem ao lodo difícil desaguamento devido à sua natureza gelatinosa (ASCE, 1996). O magnésio também interfere de forma negativa no adensamento dos lodos (CALKINS & NOVAK, 1974). Na Tabela 8 encontra-se apresentada a caracterização química dos resíduos de ETAs gerados em diferentes países.

TABELA 08 - Caracterização química dos resíduos de Estações de Tratamento de Água.

Parâmetro	Holanda	Estados Unidos da América	Brasil	Fonte
pH	7 a 8,5 ^(a) -	5,5 a 7,5 ^(b) - 6,8 a 7,8 ^(e) 5 a 7,0 ^(d)	- 6,4 ^(c)	AWWARF & KIWA (1990) CORDEIRO (1993) ALBRECHT (1972) apud CORDEIRO (1993)
Nitrogênio total (mg/L)	- -	0,7 a 1.200 ^(b) -	- 280 ^(c)	AWWARF & KIWA (1990) CORDEIRO (1993)
Alcalinidade (mgCaCO ₃ /L)	- -	- -	300 ^(d) 4 a 12 ^(e) 5 a 300 ^(d)	CORDEIRO (1993) GRANDIN (1992)
Fosfatos (mg/L)	- -	0,3 a 300 ^(b) -	- 97,8 ^(c)	AWWARF & KIWA (1990) CORDEIRO (1993)
DQO (mg/L)	- -	500 a 27.000 ^(b) -	- 1.840 ^(d)	AWWARF & KIWA (1990)
DBO (mg/L)	- -	30 a 6.000 ^(b) 1,8 a 44 ^(e) 30 a 5.000 ^(d)	- -	AWWARF & KIWA (1990) GRANDIN (1992)
Alumínio	0,2 a 14%, por peso ^(a) -	4 a 11% dos ST ^(b) , 850 a 1.970 mg/L ^(b) -	- 3.965 mg/L ^(c)	CORNWELL et al. (1987) CORDEIRO (1993)

Continuação da TABELA 08

Parâmetro	Holanda	Estados Unidos da América	Brasil	Fonte
Arsênico	-	< 0,04% dos ST ^(b) 1,1 mg/L ^(b)	-	AWWARF & KIWA (1990) CORNWELL et al. (1987)
Bário	-	< 0,1 mg/L ^(b) 0,3 mg/L ^(b)	-	CORNWELL et al. (1987)
Cádmio	-	< 0,005% dos ST ^(b) - < 0,01 mg/L ^(b)	- 0,14 mg/L ^(c) -	AWWARF & KIWA (1990) CORDEIRO (1993) CORNWELL et al. (1987)
Cálcio	1,1 a 7%, por peso ^(a)	2,8 mg/L ^(b) -	- 142 mg/L ^(c)	AWWARF & KIWA (1990) CORDEIRO (1993)
Chumbo	-	0,5 mg/L ^(b) 0,03 mg/L ^(b) -	- 2,32 mg/L ^(c)	CORNWELL et al. (1987) CORDEIRO (1993)
Cobalto	-	0,08 mg/L ^(b) -	- 1,62 mg/L ^(c)	CORNWELL et al. (1987) CORDEIRO (1993)
Cobre	-	0,45 mg/L ^(b) 0,6 mg/L ^(b) -	- 1,47 mg/L ^(c)	CORNWELL et al. (1987) CORDEIRO (1993)
Cromo	-	0,35 mg/L ^(b) 0,6 mg/L ^(b) -	- 3,83 mg/L ^(d)	CORNWELL et al. (1987) CORDEIRO (1993)
Ferro	0,2 a 45%, por peso ^(a)	6,5% dos ST ^(b) 33 a 292 mg/L ^(b)	- -	AWWARF & KIWA (1990) CORNWELL et al. (1987)
	-	-	3.381 mg/L ^(d) 4,9 a 16,1 mg/L ^(e) 17,5 a 1.800 mg/L ^(d) 10.724 mg/L ^(f) 15,8 ^(g)	CORDEIRO (1993) GRANDIN (1992)
	-	-	-	-
Magnésio	-	12 mg/L ^(b) 833 mg/kg ^(h) 1.183 mg/kg ^(c) -	- 27 mg/L ^(c)	CORNWELL et al. (1987) CORDEIRO (1993)
	-	-	1,86 mg/L ^(c)	CORDEIRO (1993)
	-	0,34 a 255 mg/L ^(b)	-	CORNWELL et al. (1987)
Prata	-	< 0,01 mg/L ^(b)	-	CORNWELL et al. (1987)
Zinco	-	0,11 a 1,7 mg/L ^(b) -	- 2,13 mg/L ^(c)	CORNWELL et al. (1987) CORDEIRO (1993)
	-	-	-	-
Sódio	-	6,5 mg/L ^(b)	311 mg/L ^(c)	CORDEIRO (1993)
Níquel	-	0,06 mg/L ^(b)	2,7 mg/L ^(c)	CORDEIRO (1993)
Potássio	-	6,1 mg/L ^(b)	49,97 mg/L ^(c)	CORDEIRO (1993)

(a) Sais de ferro, como coagulante primário;

(b) Sais de alumínio, como coagulante primário;

(c) Resíduos da limpeza de decantadores e sulfato de alumínio como coagulante primário;

(d) Resíduos da limpeza de decantadores e coagulante não especificado;

(e) Resíduos da lavagem de filtros e coagulante não especificado;

(f) Resíduos da limpeza de decantadores e sais de ferro como coagulante primário;

(g) Resíduos da lavagem de filtro e sais de ferro como coagulante primário;

(h) Resíduos da lavagem de filtro e sais de alumínio como coagulante primário.

2.2.4 - Características microbiológicas

Os resíduos gerados nas ETAs podem transmitir uma série de doenças de veiculação hídrica (cólera, febre tifóide, desintéria, amebíase e esquistossomose, etc.), uma vez que concentram as impurezas contidas na água bruta. Desta forma, é importante se determinar tais características nos estudos de gerenciamento desses resíduos, visto que foram constatados problemas dermatológicos em alguns operadores de ETAs.

Na prática, o número de coliformes fecais tem sido o parâmetro mais utilizado para a caracterização microbiológica dos resíduos de ETAs, uma vez que serve como indicador de poluição recente de fezes e, conseqüentemente, de contaminação. No entanto, nos estudos sobre o reaproveitamento e recirculação desses resíduos, exames parasitológicos mais complexos fazem-se necessários, tendo em vista a problemática envolvida com a presença de cistos.

Para resíduos gerados em decantadores convencionais com limpeza manual, CORDEIRO (1993) encontrou um número de coliformes totais de $2,4 \times 10^5$ NMP/100 mL. SOUZA FILHO (1998) verificou que a concentração de coliformes totais e fecais presentes nos resíduos da lavagem de filtros da ETA-AP variou de 6.970 a 241.920 NMP/100 mL e de 100 a 17.820 NMP/100 mL, respectivamente.

2.2.5 – Características radioativas

O componente radioativo presente nos resíduos de ETAs geralmente é muito baixo e resulta da remoção de material radioativo comumente encontrado nos mananciais (ASCE, 1996).

De acordo com os padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação federal brasileira, os elementos radioativos geralmente encontrado nas águas de abastecimento são rádio 226, rádio 228, urânio 238 e radônio 222. Esse elementos podem causar danos à saúde humana, como efeitos teratogênicos, multagênicos e carcinogênicos.

O elemento rádio (226 e 228) pode ser removido da água por troca iônica, precipitação com sulfato de bário, abrandamento com cal e pela adição de óxido de manganês. O urânio pode ser removido por osmose reversa, troca iônica, coagulação/filtração e abrandamento com cal (POTINS, 1994).

2.2.6 – Quantidade

O volume de resíduo gerado nas ETAs depende da qualidade da água bruta (turbidez e sólidos suspensos, principalmente), da dosagem e tipo de produtos químicos utilizados, do procedimento de limpeza das unidades e da tecnologia de tratamento utilizada. Na filtração direta, por exemplo, esse volume é geralmente inferior ao obtido no tratamento do tipo Ciclo Completo (CORNWELL et al., 1987). Na Tabela 9 encontram-se apresentados valores de volume para os resíduos gerados nas ETAs.

TABELA 09 - Volume dos resíduos gerados nas Estações de Tratamento de Água

Tipo de Resíduo	Quantidade			Fonte
	Brasil	Holanda	Estados Unidos da América	
Resíduo total	-	0,02 a 1,9% do volume de água bruta ^(a) ; 4% do volume de água tratada ^(c)	-	AWWARF & KIWA (1990) SABESP (1987)
Resíduos da limpeza de decantadores	- - - 0,21 a 2,92% do volume de água bruta ^(d)	- - - -	0,6% do volume de água bruta ^(c) 0,06 a 0,25% do volume de água tratada ^(b) 0,1 a 3% do volume de água bruta ^(c) -	CORNWELL et al. (1987) GRANDIN (1992) CORNWELL et al. (1987) CASTRO (1997)
Resíduos da lavagem de filtros	0,96 a 1,62% do volume de água bruta ^(b) - -	- - -	- 1 a 5% do volume de água tratada ^(c) 2 a 5% do volume de água tratada ^(c)	CASTRO (1997) GRADIN (1992) ASCE (1996)

(a) Tratamento do tipo Ciclo Completo, sais de ferro como coagulante primário e procedimento de limpeza não especificado;

(b) Tratamento do tipo Ciclo Completo, sais de alumínio como coagulante primário e procedimento de limpeza não especificado;

(c) Tratamento do tipo Ciclo Completo e sais de ferro ou alumínio como coagulante primário

(d) Tratamento do tipo Ciclo Completo, sais de alumínio como coagulante primário e decantadores com descarga de fundo diária.

Para se ter uma idéia do volume de água perdido durante a limpeza das unidades da ETA, na região metropolitana de São Paulo, por exemplo, 4% do volume de água tratada seria suficiente para abastecer uma população de 430.000 habitantes (SABESP, 1987).

A maior parte do resíduo gerado em uma ETA resulta da limpeza de decantadores e filtros, de forma que o volume de resíduo gerado durante a

lavagem dos tanques de preparação e armazenamento de produtos químicos é relativamente desprezível. Os decantadores convencionais com limpeza manual geralmente produzem volume mensal de resíduo inferior ao obtido para os filtros. Já os operados com alta taxa e descarga de fundo produzem volume mensal superior ao obtido para os filtros.

Para os decantadores, as características dos sólidos presentes na água bruta, a dosagem de coagulante e o procedimento de limpeza são os parâmetros que mais influenciam na quantidade do resíduo gerado; enquanto para os filtros, além do procedimento de lavagem, são mais determinantes a duração da carreira de filtração e o volume de água utilizado durante a lavagem.

A quantidade de resíduo pode ser minimizada otimizando-se os processos de mistura rápida e coagulação, ou através da seleção de coagulantes que gerem menor quantidade de lodo. A concentração de sólidos presente nos resíduos pode ser reduzida em até 70%, quando se substitui, por exemplo, sais de alumínio por cloreto de polialumínio (AWWARF & KIWA, 1990). No entanto, os custos são elevados.

No projeto de um sistema de tratamento para os resíduos das ETAs, a determinação do volume dos mesmos constitui uma das etapas mais difíceis. Para tal, tem-se utilizado equações e estimativas *in loco*. Neste caso, geralmente, adota-se como valor de projeto o volume médio mensal relativo ao ano mais recente, embora as máximas e mínimas mensais e sazonais devam ser consideradas.

As equações são baseadas nas características da água bruta e na dosagem de coagulante e são utilizadas para ETAs em fase de projeto. De acordo com CORNWELL et al. (1987), a equação mais utilizada para estimar a quantidade de lodo de ETAs que utilizam sais de alumínio é a seguinte:

$$S = (8,34Q)(0,44Al + SST + A) \quad (3)$$

em que:

S = quantidade de lodo produzida, lbs/dia (1lbs = 0,453 kg)

Q = vazão de água bruta, mgd (1 mgd = 3.785 m³/d)

Al = dosagem de sais de alumínio líquido (mg/L, com 17,1% de Al₂O₃)

SST = sólidos suspensos totais presentes na água bruta (mg/L)

A = sólidos resultantes da adição de produtos químicos auxiliares (mg/L).

E a mais utilizada para ETAs que utilizam sais de ferro como coagulante primário é a seguinte:

$$S = (8,34Q)(2,9Fe + SST + A) \quad (4)$$

em que,

Fe = dosagem de sais de ferro (mg/L).

2.2.6.1 - Limpeza dos decantadores

Os sistemas de remoção de lodo dos decantadores são classificados como “simples” (remoção manual ou remoção hidráulica) ou “mecanizados” (remoção intermitente ou remoção contínua). O emprego desses últimos justifica-se quando a quantidade de sólidos sedimentáveis presente na água bruta for muito elevada ou quando o lodo for composto, em sua maioria, por sólidos rapidamente putrescíveis. O porte da ETA também interfere na escolha do sistema de remoção de lodo dos decantadores.

Os decantadores com limpeza manual são limpos quando o nível de sólidos na unidade atinge um valor máximo pré-determinado ou quando se inicia a fermentação dos sólidos. O primeiro caso se verifica quando a água bruta é continuamente impura, de modo a haver grande produção de lodo. O segundo caso se verifica quando o tratamento ocorre de forma descontínua e com baixa produção de lodo, de modo que a fermentação se inicia antes da camada de lodo atingir a altura que impede a decantação normal dos flocos (CETESB, 1987).

O aparecimento de pequenas bolhas de gás na superfície do decantador indica o início da fermentação. Se o operador não atentar para esse fenômeno, e se a fermentação prosseguir, haverá, além da produção de gosto e cheiro desagradáveis na água decantada, desprendimento de grandes placas de lodo do fundo dos decantadores, deteriorando, ainda mais, a qualidade da água decantada.

Esses decantadores geralmente são limpos em intervalos que variam de 1 a 4 meses, dependendo da qualidade da água bruta (CETESB, 1997 e GRANDIN, 1992). No caso, a limpeza inicia-se com a drenagem das unidades e, em seguida, é efetuada a lavagem das mesmas por jateamento de água sob alta pressão para remover o restante de lodo. A limpeza manual resulta na produção de resíduo em bateladas, o que dificulta o gerenciamento do mesmo.

Uma vez que nos decantadores com limpeza mecanizada a descarga de lodo ocorre de forma contínua ou semi-contínua, o lodo pode ser lançado

diretamente na rede coletora de esgoto. Além disso, se o lodo for tratado na ETA, o processo será mais eficiente e controlado e a ocorrência de condições anaeróbias é praticamente inexistente.

Segundo levantamento efetuado por CORDEIRO (1993), na maioria das ETAs brasileiras, a limpeza dos decantadores é feita manualmente e os resíduos, em sua maioria, são lançados em um córrego próximo à ETA.

2.2.6.2 - Lavagem de filtros

Durante a filtração, as partículas em suspensão na água decantada são retidas nos poros do meio filtrante e, quando se atinge a perda de carga máxima admissível no filtro, a limpeza do mesmo é efetuada por contrafluxo. A limpeza dos filtros rápidos consiste geralmente na aplicação de fluxo em contracorrente, com o auxílio ou não de ar, em intervalos de 12 a 48 h, com duração de 4 a 15 min e taxa da ordem de 10 a 12 L/m²s (CETESB, 1997).

A concentração de sólidos suspensos totais contida nesses resíduos varia bastante durante a lavagem, tornando-se gradualmente menor com o passar do tempo (CETESB, 1987). O filtro é considerado limpo quando se observa clarificação e ausência de flocos no resíduo (CETESB, 1987).

Os sólidos presentes nesses resíduos são remanescentes da decantação da água bruta (argilas finas, matéria orgânica, etc.), podendo também resultar da adição de auxiliares de filtração (CORDEIRO, 1981).

2.2.7 – Tipos de resíduos

De acordo com HILSON (1980), dependendo da tecnologia de tratamento utilizada na ETA, os resíduos podem ser classificados em dois grandes grupos: os gerados por tecnologias que não utilizam processos químicos e os gerados por tecnologias que utilizam processos químicos.

As ETAs que utilizam tecnologia de tratamento sem processos químicos (filtração lenta, por exemplo) produzem os seguintes tipos de resíduo:

- resíduos da limpeza de canais e decantadores - consistem geralmente de sólidos mais grossos, obtidos da decantação da água bruta (areia e siltes, por exemplo), os quais conferem ao lodo boa sedimentabilidade e fácil desaguamento. Com o devido controle, estes resíduos podem ser lançados nos cursos de água, visto que os sólidos presentes provêm apenas da água bruta;

- resíduos da lavagem de pré-filtros - podem conter grande quantidade de sólidos suspensos, uma vez que a lavagem depende da carreira de filtração e da qualidade da água bruta;
- resíduos da limpeza dos filtros lentos - podem conter elevadas concentrações dos sólidos suspensos, tais como: matéria orgânica (algas), óxidos hidratados de metais presentes na água bruta e partículas de areia fina.

As ETAs que utilizam tecnologia de tratamento com processos químicos produzem os seguintes resíduos:

- resíduos gerados nos processos de coagulação e floculação - são os mais volumosos e os mais difíceis de tratar. São compostos basicamente por sólidos suspensos pouco sedimentáveis, colóides e hidróxidos de alumínio ou ferro, o que lhes conferem maior resistência ao desaguamento;
- resíduos gerados nos processos de abrandamento - geralmente são compostos por cal pura, ou combinada a hidróxidos de sódio e magnésio. Apresentam maior concentração de sólidos que os obtidos nos processos de coagulação; porém, menor resistência ao desaguamento;
- resíduos gerados nos processos de remoção de substâncias inorgânicas traços (nitrato, fluoreto, arsênico, etc.): são compostos basicamente por sólidos dissolvidos, resultantes dos próprios materiais utilizados no processo de remoção (troca iônica, osmose reversa, e eletrodialise, por exemplo).

2.3 - Métodos de tratamento utilizados para os resíduos de ETAs

O tratamento utilizado para os resíduos gerados ETAs consiste basicamente na redução do percentual de água contido nos mesmos, tornando-os mais concentrados, minimizando, por conseguinte, o volume a ser disposto. Vale salientar que esses resíduos apresentam teor de umidade superior a 95%.

A redução do percentual de água é feita por meio de processos de separação das fases líquida e sólida dos resíduos. A fase líquida deve possuir qualidade que permita sua recirculação ou seu lançamento nos cursos de água ou na rede coletora de esgoto, enquanto a fase sólida deve apresentar volume suficientemente reduzido, de forma que seu transporte para o destino final seja fácil e de baixo custo e que sua concentração de sólidos atenda aos padrões exigidos pela disposição final (HILSON, 1980).

Desta forma, o grau de tratamento necessário para esses resíduos poderá depender do método de disposição final, da qualidade desejada para o recirculado e dos padrões de lançamento nos cursos de água e na rede coletora de esgoto.

Na Figura 2 encontram-se ilustradas as etapas geralmente envolvidas no tratamento dos resíduos de ETAs.

FIGURA 02 - Etapas envolvidas no tratamento dos resíduos de Estações de Tratamento de Água.

Embora existam vários métodos de tratamento e de disposição final, nenhum deles pode ser generalizado, uma vez que não existe uma composição típica para os resíduos. Além disso, a disponibilidade de recursos financeiros é determinante na escolha do processo a ser adotado para soluções a curto, médio e longo prazos. Por outro lado, uma das questões mais difíceis no gerenciamento desses resíduos é a otimização global da ETA.

Lagoas de lodo, decantadores, flotadores, adensadores, leitos de secagem, filtros prensa, centrífugas, filtro a vácuo e prensas desaguadoras ("belt-press") são unidades de separação de fases que têm sido utilizadas para os resíduos de ETAs. Na Tabela 10 encontra-se apresentada uma comparação entre as eficiências dessas unidades, em termos do percentual de sólidos totais da fase sólida obtida no final de cada processo.

2.3.1 - Equalização

A equalização dos resíduos das ETAs pode se fazer necessária antes de seu tratamento, a fim de permitir uniformidade de vazão e concentração na entrada das unidades de tratamento e, conseqüentemente, maior controle operacional e eficiência do processo.

TABELA 10 - Comparação entre as eficiências de diferentes processos de separação de fases utilizados no tratamento dos resíduos de ETAs

Unidades de separação de fases	Percentual final de sólidos totais (%)	
	Holanda	Estados Unidos da América
Decantadores	-	1 a 2 ^(a) 1 a 4 ^(b)
Adensadores	2 a 4	2 a 4 ^(c) 3 a 15
Leitos de secagem	15 a 40	20 a 25
Lagoas de lodo	< 20	7 a 15
Filtros prensa	30 a 50	35 a 45
Prensas desaguadoras	15 a 30	10 a 15
Filtros a vácuo	10 a 25	-
Centrífugas	15 a 30	10 a 20

(a) Sem condicionamento químico

(b) Com condicionamento químico

(c) Por gravidade

Fonte: CORNWELL et al. (1987)

Os resíduos gerados durante a lavagem de filtros rápidos apresentam taxa de descarga elevada, de modo que sua equalização é geralmente recomendada. Para os decantadores convencionais com limpeza manual, tal procedimento também se faz necessário, visto que os resíduos são gerados na forma de "batelada". Em muitas situações, recomenda-se a instalação de equipamentos de remoção contínua de lodo nesses decantadores, a fim de permitir uma produção mais uniforme de resíduos. No entanto, geralmente a configuração dessas unidades não permite tal readaptação.

O volume de projeto dos tanques de equalização depende da frequência de lavagem das unidades, do volume de água utilizado em cada lavagem e da eficiência do processos de separação. A velocidade do escoamento nos tanques de equalização deve ser elevada o suficiente para não permitir a deposição interna de sólidos.

2.3.2 - Condicionamento

O condicionamento dos resíduos de ETA tem como objetivo acelerar os processos de separação de suas fases líquida e sólida, proporcionando, desta forma, maior taxa de escoamento superficial, o que resulta na construção de unidades de separação de menor porte. Além disso, o condicionamento melhora a qualidade da fase líquida desses resíduos.

O condicionamento pode ser de natureza química (adição de polímeros) ou de natureza física (congelamento). O condicionamento químico é o mais difundido e os condicionantes mais utilizados são os polímeros naturais ou sintéticos e os sais metálicos de alumínio ou ferro. Os polímeros têm se mostrado mais eficientes que os sais metálicos. No caso, os mais hidrolíticos têm sido os mais eficientes, visto que proporcionam maior remoção de partículas coloidais (AWWARF & KIWA, 1990).

A utilização de polímeros naturais (a base de amido, por exemplo) aumenta a concentração de matéria orgânica biodegradável no resíduo, podendo resultar na formação de um ambiente anóxico. Nestas condições, o potencial redox do meio tende a diminuir, promovendo, conseqüentemente, a migração de contaminantes sorvidos na fase sólida para a fase líquida. A deterioração da qualidade da fase líquida poderá restringir o reaproveitamento da mesma. Vale salientar que a própria matéria orgânica presente no polímero natural também contribui para a deterioração da fase líquida dos resíduos.

Além do tipo e dosagem do condicionante, o tempo e o gradiente da mistura são de grande importância na eficiência do condicionamento químico, de forma que quanto maior for a dosagem do condicionante, maiores serão o gradiente e o tempo de agitação (AWWARF & KIWA, 1990). Os fatores que influenciam na dosagem dos polímeros são: concentração de sólidos, pH e intensidade da mistura (ASCE, 1996).

Estudos realizados na Holanda, com resíduos da lavagem de filtros, indicaram que, para tempo de sedimentação de 30 min, o percentual de remoção de ferro foi de 90%, quando adicionados polímeros sintéticos; sem a adição de polímeros, esse percentual foi de 70%, para tempo de sedimentação de 2 h. Dentre os polímeros sintéticos, os aniônicos foram os mais eficientes e sua dosagem ótima foi de aproximadamente 1 mg/L (AWWARF & KIWA, 1990).

O condicionamento químico dos lodos reduz a resistência específica dos mesmos, já que resulta no aumento do tamanho de suas partículas. Os testes de resistência específica podem ser utilizados nos estudos de seleção do tipo e dosagem ótima dos condicionantes empregados nos estudos de clarificação dos resíduos de ETA. Graficando-se os valores de resistência específica versus os da dosagem do condicionante, a dosagem ótima pode ser obtida pelo ponto de inclinação mínima da referida curva (CORNWELL et al., 1987).

O congelamento do lodo vem sendo empregado em ETAs de países de clima frio que geram grande quantidade de lodo de difícil desaguamento. Embora os custos com energia elétrica sejam consideravelmente mais altos que os obtidos para o condicionamento químico, o custo global do processo de desaguamento pode ser menor. Métodos de desaguamento de baixo custo, precedidos de condicionamento por congelamento, podem resultar em grau de desaguamento entre 30 e 50%. No entanto, as experiências com congelamento natural são poucas (CORNWELL et al., 1987).

2.3.3 - Decantação, flotação e adensamento

Os resíduos de ETAs são concentrados inicialmente em decantadores ou flotadores, seguidos ou não de adensadores. O processo de flotação geralmente resulta em lodos mais concentrados que os obtidos no de decantação, embora os gastos envolvidos sejam maiores.

O adensamento é utilizado para concentrar ainda mais os lodos obtidos nos processos de decantação ou flotação, reduzindo, desta forma, as dimensões das unidades de desaguamento, o que implica em menores gastos (HILSON, 1980).

No entanto, os custos relativos ao gerenciamento dos resíduos de ETA não dependem unicamente do volume dos mesmos, mas também de sua sedimentabilidade e de seu potencial de desaguamento (AWWARF & KIWA, 1990).

2.3.4 - Desaguamento

Os processos de desaguamento utilizados para lodos de ETA podem ser naturais ou mecânicos. As lagoas de lodo e os leitos de secagem são exemplos de processos de desaguamento natural, enquanto as centrífugas, os filtros prensa e os filtros a vácuo são exemplos de processos de desaguamento mecânica. Esta é mais indicada nos seguintes casos:

- indisponibilidade de área;
- possibilidade de contaminação do solo e das águas subterrâneas;
- deseja-se elevada concentração de sólidos na torta;
- deseja-se que o tratamento ocorra em curto período de tempo.

Por razões econômicas, nas ETAs que geram baixo volume de lodo, geralmente utiliza-se a desaguamento natural (AWWARF & KIWA, 1990). Vale salientar que durante o processo de desaguamento, a eficiência do mesmo não é o único fator a ser considerado. A qualidade do efluente líquido também é importante, especialmente quando este é recirculado (HILSON, 1980).

2.4 – Recirculação dos resíduos gerados nas ETAs

A recirculação dos resíduos gerados nas ETAs reduz o volume de resíduo a ser disposto e evita o desperdício de grande quantidade de água. No entanto, dependendo da qualidade do recirculado, tal procedimento poderá: sobrecarregar os decantadores e, conseqüentemente, diminuir a duração da carreira de filtração, o que pode resultar no aumento de volume e turbidez do lodo retido nestas unidades; interferir na dosagem de produtos químicos, bem como nos processos de mistura rápida, coagulação e floculação; e resultar no aumento da concentração de subprodutos da desinfecção. Além disso, para ETAs de pequeno porte, os custos com esses investimentos podem ser bastante onerosos.

A relutância dos administradores de ETAs em recircular seus resíduos, deve-se ao fato desses resíduos conterem substâncias poluentes e indesejáveis (microrganismos, substâncias que causam gosto e odor, etc.). No entanto, a recirculação pode ser viável nos seguintes casos:

- carência de água bruta e demanda crescente de água potável;
- volume de água gasto na lavagem dos filtros muito grande;
- padrões de lançamento dos resíduos em cursos de água muito rígidos.

Do ponto de vista microbiológico, caso a água bruta contenha oocistos, os resíduos gerados nas ETAs podem conter quantidades elevadas dos mesmos, de forma que a recirculação desses resíduos resultaria no acúmulo desses parasitas no sistema (MURRAY et al., 1994), especialmente para os gerados durante a limpeza dos decantadores.

Os resíduos de ETA geralmente são submetidos a um tratamento prévio (clarificação) antes de sua recirculação. Para isto, têm-se utilizado decantadores,

lagoas de lodo ou tanques de equalização. Para estes últimos, tem-se utilizado taxa de recirculação inferior a 10% da vazão de água bruta, de forma que a fase líquida é recirculada para o canal de entrada de água bruta e a fase sólida para a desaguamento (ASCE, 1996).

A decantação desses resíduos é caracterizada pela formação de uma interface visível entre o lodo e o sobrenadante. A taxa de sedimentação do lodo varia entre 12 e 18 m/dia. Geralmente, períodos de sedimentação de 6 a 24 h são utilizados para garantir boa qualidade para o sobrenadante e aumentar a concentração de sólidos suspensos totais no lodo. A taxa de sedimentação pode aumentar de 2 a 10 vezes, quando se adiciona pequena quantidade de polímeros, em especial aniônico (AWWARF & KIWA, 1990).

Os decantadores/clarificadores podem operar de forma contínua ou intermitente. A operação intermitente é mais indicada para ETAs em que o volume total diário dos resíduos seja inferior a 500 m³/dia. A operação contínua é mais indicada quando o volume diário dos resíduos for superior a 1.000 m³/dia.

Nos Estados Unidos e Europa, a recirculação dos resíduos gerados durante a lavagem dos filtros é uma prática bastante utilizada. Já no Brasil, tal prática não é muito difundida, além de não existirem padrões de qualidade para recirculação da fase líquida dos resíduos de ETA, de maneira que a opção por tal prática passa a ser muito subjetiva e criteriosa.

No Estado de São Paulo, as ETAs Guaraú e Alto da Boa Vista, realizam com sucesso a recirculação de 100% dos resíduos gerados durante a lavagem de seus filtros (FERREIRA FILHO, 1987). Em Minas Gerais, nas ETAs Morro Redondo, Rio Manso e Rio das Velhas tal prática também é efetuada (CASTRO et al., 1997). Em Brasília, a ETA Rio Descoberto recircula os resíduos da lavagem de filtros, após clarificação (BARBOSA, 1997).

2.5 - Disposição final dos resíduos gerados nas ETAs

Os métodos de disposição final convencionalmente utilizados para os resíduos de ETA tem sido as lagoas de lodo e os cursos de água (MURRAY et al., 1994). Atualmente, nos países mais desenvolvidos, esses resíduos são concentrados, de forma que a torta geralmente é transportada para aterros sanitários. A fase líquida ou é recirculada ou lançada na rede coletora de esgoto e, até mesmo, nos cursos de água.

Em pouquíssimas circunstâncias, a torta e, até mesmo, o lodo têm sido disposto diretamente no solo. Este procedimento requer muita cautela, visto que

pode contaminar o lençol freático e o próprio solo. Neste último caso, o desequilíbrio da concentração de fósforo disponível para as plantas, causado pela presença do alumínio, constitui em um dos principais problemas.

Nos Estados Unidos, o lançamento nos cursos de água geralmente só é permitido para sua fase líquida, a qual deve atender aos padrões de lançamento apresentados na Tabela 11. Em alguns casos, é permitido o lançamento direto na rede do resíduo bruto gerado durante a lavagem dos filtros (AWWARF & KIWA, 1990).

TABELA 11 - Padrões de lançamento nos cursos de água, para a fase líquida dos resíduos gerados nas Estações de Tratamento de Água, de acordo com as normas norte-americanas

Parâmetro	Média mensal	Média anual
Ferro total (mg/L)	2	4
Alumínio total (mg/L)	4	8
Manganês total (mg/L)	1	2
Sólidos suspensos totais (mg/L)	30	60
PH	6 a 9	-

Fonte: AWWARF & KIWA (1990).

2.6 - Disposição nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs)

2.6.1 – Introdução

A disposição dos resíduos de ETAs nas ETEs surge como solução ideal para os órgãos administradores das ETAs, visto que elimina a necessidade de implantação de sistemas de tratamento de resíduos nas mesmas, transferindo toda a responsabilidade e problemática para os órgãos responsáveis pelas ETEs. Na pior das hipóteses, um tratamento preliminar de custo reduzido pode se fazer necessário na ETA. A cooperação entre os administradores desses sistemas facilita a implantação desse método de disposição.

No entanto, na prática, tal procedimento não é tão simples, visto que poderão ocorrer interferências nos processos de tratamento e disposição final das fases líquida e sólida do esgoto. Além disso, a existência de uma legislação que regulamente a disposição de resíduos na ETE, poderá ser impedir tal procedimento se as características dos resíduos da ETA contrariarem os padrões de emissão estabelecidos.

De acordo com a ASCE (1996), o aumento de remoção de sólidos suspensos totais, DQO, DBO, fósforo e sulfeto são interferências benéficas que podem ocorrer na ETE, enquanto o aumento da concentração de sólidos suspensos totais e metais pesados no efluente final, a diminuição da capacidade efetiva do digestor e a sobrecarga nos decantadores primários e nos sistemas de remoção e desaguamento do lodo seriam as prováveis interferências negativas. Segundo essa mesma entidade, os problemas relacionados com esse método de disposição poderão ocorrer principalmente nos processos que tratam a fase líquida do esgoto. No entanto, considerações criteriosas sobre o projeto e operação das ETEs podem atenuar esses problemas.

O primeiro aspecto a ser considerado é o tipo e características dos resíduos da ETA, incluindo a forma em que esses são transportados para a ETE (líquida, semi-sólida ou sólida). O segundo aspecto é o tipo de transporte (sistema de coleta de esgoto convencional, rede pressurizadas ou transporte em caminhões). O tipo de transporte é importante porque determina o local onde os resíduos podem ser introduzidos nas unidades que compõem a ETE, bem como a taxa na qual podem ser introduzidos (gradualmente em um período de tempo longo ou dose pontual).

Em alguns casos é preferível que se introduza os resíduos da ETA nos processos de tratamento físico do lodo da ETE, a fim de se evitar a sobrecarga nos processos de tratamento da fase líquida do esgoto (ASCE, 1996). Tal procedimento não necessariamente elimina os impactos nos processos de tratamento da fase líquida do esgoto, visto que poderá degradar a qualidade do recirculado.

Obviamente, a consideração final e mais importante sobre esse método de disposição é o impacto no desempenho da ETE. O desempenho de cada unidade de tratamento deve ser mantido a fim de garantir que a qualidade do efluente final não se altere, contrariando os padrões de emissão no corpo receptor. Além disso, tal procedimento não deverá ocasionar problemas para a disposição final ou reuso dos lodos e tortas gerados na ETE (disposição no solo, incineração, etc.).

Com relação a qualidade do efluente final da ETE, a maior preocupação é a contaminação por metais pesados presentes nos resíduos de ETAs, principalmente o alumínio ou o ferro.

Embora não seja um procedimento mundialmente difundido, esse método de disposição vem sendo realizado sem problemas em alguns países da Europa e nos Estados Unidos da América, principalmente para os resíduos da lavagem dos

filtros. No Brasil, não existem estudos publicados sobre esse tema. Por outro lado, como a maioria dos nossos municípios ainda não possui ETEs, as mesmas poderão ser projetadas para receber os resíduos de ETA.

2.6.2 – Sistemas de transporte dos resíduos da ETA

Os resíduos de ETAs geralmente são transportados para as ETEs via rede coletora de esgoto convencional, por bombeamento direto ou por transporte em caminhões. Os fatores determinantes na seleção do sistema de transporte são: a capacidade e disponibilidade da ETE, os impactos dos resíduos nos processos de tratamento, os custos, a possibilidade de corrosão e os problemas relacionados com a disposição do efluente final e do lodo (ou torta).

A rede coletora de esgoto, quando há disponibilidade, é o sistema de transporte mais utilizado e também o de menor custo. No entanto, esta opção requer flexibilidade operacional da ETE, em termos de vazão, visto que as unidades que tratam a fase líquida do esgoto receberão a maior parte dos resíduos da ETA. Caso a ETE opere com capacidade inferior a máxima de projeto, os resíduos poderão ser encaminhados para a mesma sem maiores problemas.

Os sistemas de bombeamento direto e de transporte em caminhões geralmente apresentam custos mais elevados, comparados ao lançamento na rede coletora de esgoto (ASCE, 1996). Em ambos os casos, a descarga dos resíduos da ETA é controlada e pode ser feita diretamente nas unidades de tratamento das fases líquida ou sólida do esgoto. Por exemplo, os resíduos poderão ser lançados diretamente nos digestores de lodo ou nas unidades de desaguamento.

Outros fatores podem interferir na seleção do sistema de transporte dos resíduos de ETAs até a ETE. A instalação de um único equipamento de desaguamento para os lodos de ETA e de ETE, por exemplo, pode resultar em economia para os órgãos que administram esses dois sistemas de tratamento (ASCE, 1996).

2.6.2.1 – Tratamento preliminar dos resíduos da ETA

Os resíduos de ETAs geralmente necessitam de tratamento preliminar antes de seu lançamento na rede coletora de esgoto, visto que dificilmente atenderão aos padrões de emissão exigidos para a mesma. A equalização de vazão geralmente se faz necessária, embora outros métodos de tratamento relacionados com a qualidade dos resíduos também podem ser indispensáveis,

tais como: homogeneização dos resíduos para garantir concentração uniforme durante o lançamento na rede, correção de pH e remoção de sólidos totais e metais pesados.

A equalização da vazão dos resíduos de ETAs tem a finalidade de garantir escoamento uniforme na rede de esgoto. Dependendo da vazão máxima permitida pelo padrão de emissão na rede coletora, os tanques de equalização de vazão também poderão armazenar uma parte do volume dos resíduos gerados na ETA.

Para evitar a deposição de sólidos na rede coletora de esgoto, recomenda-se que o lançamento dos resíduos ocorra durante os períodos do dia em que o escoamento na tubulação seja suficiente para manter uma velocidade mínima de 0,8 m/s (CORNWELL et al., 1987).

Por outro lado, em determinadas situações, a rede coletora poderá atingir sua capacidade máxima, impossibilitando, desta forma, um incremento de vazão. Neste caso, para evitar a construção de novas linhas de esgoto, os resíduos poderiam ser lançados nos períodos em que a vazão afluyente à ETE fosse baixa, por exemplo, da meia-noite às seis horas da manhã, fato que vem ao encontro das necessidades tanto da ETA quanto da ETE, pois esse horário é propício para limpeza dos filtros e decantadores, em virtude da pouca necessidade de água para o abastecimento.

Geralmente, os valores máximos de sólidos totais permitidos pela legislação norte-americana são inferiores a 60 mg/L, encontrando-se, desta forma, bem abaixo daqueles encontrados para os resíduos de ETAs. No entanto, existem ETAs na Alemanha que lançam resíduos com 30.000 mg ST/L diretamente na rede coletora de esgoto sem causar o entupimento da mesma (AWWARF & KIWA, 1990).

Segundo a ASCE (1996), experimentos realizados em escala real indicaram que a descarga direta na rede coletora dos resíduos de decantadores com descarga de fundo diária, durante duas semanas, não deteriorou a qualidade de efluente final da ETE. No entanto, para os decantadores convencionais com limpeza manual, o lançamento direto dos resíduos na rede durante seis horas resultou em deterioração significativa da qualidade do efluente final da ETE, em termos de turbidez, sólidos suspensos e cor. Além disso, só após três dias é que a ETE se recuperou da carga de choque.

Na descarga de fundo diária, a vazão dos resíduos é praticamente constante e a concentração de sólidos no resíduo é relativamente baixa, enquanto nos decantadores convencionais com limpeza manual a descarga ocorre em

bateladas e a concentração de sólidos nos resíduos é muito superior, uma vez que o decantador é limpo em intervalos de tempo da ordem de meses.

Com relação aos resíduos da lavagem dos filtros, embora sua concentração de sólidos seja muito inferior à obtida para os resíduos da limpeza dos decantadores, sua vazão é muito grande, de forma que a equalização geralmente se fará necessária.

A qualidade dos resíduos da ETA também poderá impossibilitar o lançamento dos mesmos na ETE, independentemente do sistema de transporte utilizado. Limites poderão ser impostos às concentrações de sólidos suspensos totais, sólidos totais dissolvidos, pH, metais pesados e constituintes corrosivos. Restrições como horário, vazão e concentração de sólidos máximas devem ser atendidas, de forma que a equalização prévia desses resíduos geralmente se faz necessária.

Se a legislação for muito rígida e a concentração de sólidos contida nos resíduos for superior ao limite máximo permitido, será necessário o armazenamento de sólidos na ETA, o que implica na construção unidades de separação de fases (CORNWELL et al., 1987).

Os padrões de emissão na rede coletora de esgoto, tanto para as legislações nacionais como internacionais, estabelecem uma faixa de pH entre 6 e 9, de forma que os resíduos gerados durante a limpeza das unidades de abrandamento poderão necessitar de correção de pH, o que leva a construção de unidades de neutralização de pH na ETA. Por outro lado, como esses resíduos apresentam elevada concentração de cal, seu lançamento na rede de esgoto geralmente não é indicado, visto que poderá resultar no entupimento da mesma (CORNWELL et al., 1987).

Uma vez que a concentração de metais pesados nos ambientes aquáticos tem sido rigorosamente monitorada a fim de evitar toxicidade nos organismos humano, aquático e das plantas, os padrões de disposição final exigidos para o efluente final das ETEs e os lodos gerados nas ETAs e ETEs, estão se tornando cada vez mais rigorosos.

Segundo a ASCE (1996), os metais em maiores concentrações encontrados no resíduos de ETAs norte-americanas são arsênico, cobre, cromo, chumbo e zinco. Estima-se que 30% do arsênico encontrado no lodo digerido de ETEs deve-se aos resíduos de ETA.

Se o material utilizado nas tubulações da rede de esgoto for o concreto, a presença de gás sulfídrico (H_2S) nos resíduos da ETA pode resultar na corrosão das tubulações e, até mesmo, causar danos à saúde dos operadores. Se o resíduo da ETA se encontrar em estado séptico (lodo das lagoas de lodo, por exemplo) ou contendo elevada concentração de sulfato, o potencial de corrosão deve ser investigado.

Por outro lado, o lançamento de resíduos a base de sais de ferro pode eliminar a formação de gás sulfídrico na rede coletora. Esses sais tendem a elevar o potencial redox do meio, reduzindo, desta forma, a formação de sulfato e, conseqüentemente, de sulfeto. No caso, ocorre precipitação de complexos de ferro e enxofre (AWWARF & KIWA, 1990). Os resíduos a base de sais de ferro também poderão aumentar a remoção de fósforo na ETE e minimizar os problemas relacionados a formação de gás sulfídrico nos digestores de lodo.

Embora os microrganismos envolvidos nos processos de tratamento do esgoto geralmente tenham-se mostrado capazes de suportar cargas tóxicas, na prática, sugere-se a equalização dos resíduos de ETAs, a fim de manter a concentração dos contaminantes uniforme na entrada dos processos biológicos.

2.6.2.2 – Lançamento no sistema convencional de coleta de esgoto

Embora os sólidos contidos nos resíduos da ETAs possam sedimentar na rede coletora de esgoto, eles provavelmente não sedimentam-se mais rapidamente que os sólidos contidos no esgoto. Como a rede coletora de esgoto é projetada com declividade adequada para transportar os sólidos presentes no esgoto, provavelmente também será capaz de transportar os sólidos presentes nos resíduos de ETAs (ASCE, 1996).

De acordo com CORNWELL et al. (1987), para evitar deposição de sólidos na rede, os resíduos das ETAs devem apresentar concentração de sólidos totais inferior a 30.000 mg/L e velocidade do escoamento na rede deve ser maior que 0,8 m/s. Por outro lado, também poderão ocorrer problemas nas estações elevatórias de esgoto.

2.6.2.3 – Sistema de transporte por caminhões

A constatação prévia ou simulada de ocorrência de interferência negativa dos resíduos de ETAs nos processos que tratam a fase líquida do esgoto é o principal fator a ser considerado durante a verificação da necessidade de se efetuar o transporte desses resíduos por meio de caminhões.

No possibilidade de impactos significativos, o transporte em caminhões permite que o lançamento dos resíduos da ETA seja efetuado em uma determinada unidade de tratamento, onde os impactos negativos possam ser minimizados. A distância entre a ETA e a ETE, a quantidade dos resíduos e o congestionamento do tráfego podem ser determinantes na escolha entre esse sistema e o de redes pressurizadas.

2.6.3 - Efeito nos processos e operações das Estações de Tratamento de Esgoto

2.6.3.1 - Generalidades

Os resíduos de ETAs podem causar interferências no desempenho dos processos e operações utilizados no tratamento do esgoto, tais como: toxicidade nos processos biológicos, alterações na remoção de sólidos suspensos e DQO presentes no sobrenadante dos decantadores primários e remoção de fósforo do efluente final (CORNWELL et al., 1987).

Uma vez que a maioria das impurezas presentes nos resíduos de ETAs apresenta boa sedimentabilidade, os decantadores primários e, conseqüentemente, os digestores de lodo da ETE serão possivelmente as unidades mais vulneráveis aos efeitos desse método de disposição.

Por outro lado, os sólidos dissolvidos presentes na fase líquida desempenham um papel ainda mais importante quando se refere aos problemas de toxicidade, de forma que as características químicas e microbiológicas dos resíduos de ETA são as que mais influenciam no desempenho dos processos biológicos.

2.6.3.2 – Efeitos na decantação do esgoto

2.6.3.2.1 – Princípios de sedimentação

A sedimentação é uma operação física de separação de partículas sólidas com densidade superior à do líquido circundante. Em um tanque em que a velocidade de fluxo do líquido é relativamente baixa, as partículas tendem a ir para o fundo sob a influência da gravidade. Conseqüentemente, o líquido sobrenadante torna-se clarificado, ou seja com baixa concentração de sólidos suspensos, enquanto as partículas no fundo do tanque formam uma camada de lodo. Diz-se,

então, que ocorreu a “decantação” do líquido e a “sedimentação” das partículas sólidas.

A sedimentação é uma operação unitária de grande importância em diversos sistemas de tratamento de esgoto. As principais aplicações da sedimentação no tratamento do esgoto são:

- Tratamento Preliminar: remoção de areia (sedimentação de partículas inorgânicas de maiores dimensões). Unidade onde ocorre o tratamento: caixas de areia;
- Tratamento Primário: decantação primária (sedimentação dos sólidos em suspensão do esgoto bruto). Unidades onde ocorre o tratamento: decantadores primários e fossas sépticas;
- Tratamento Secundário: decantação final (remoção dos sólidos biológicos). Unidades onde ocorre o tratamento: decantadores secundários nos sistemas de Lodos Ativados, decantadores finais nos sistemas de filtros biológicos, decantadores finais nos sistemas de reatores anaeróbios de manta de lodo e nas lagoas de sedimentação precedidas de lagoas aeradas de mistura completa;
- Tratamento Físico-Químico: precipitação química (remoção de flocos químicos). Unidades onde ocorre o tratamento: unidades de polimento de efluentes do tratamento secundário, unidades de remoção química de nutrientes, unidades de coagulação/floculação de esgoto ou resíduos industriais;
- Tratamento do Lodo: Adensamento (sedimentação e adensamento do lodo primário e/ou lodo biológico excedente). Unidades onde ocorre o tratamento: adensadores por gravidade.

Além destes, a sedimentação ocorre em diversas outras unidades de tratamento de esgotos, como as lagoas de estabilização, mesmo que estas não tenham sido especificamente projetadas para tal.

Embora o principal propósito da sedimentação seja, na maioria da vezes, produzir um sobrenadante clarificado, é desejável também produzir lodo com concentração de sólidos adequada para o seu tratamento.

Dependendo da concentração e da tendência de interação das partículas, podem ocorrer quatro tipos de sedimentação no tratamento do esgoto, os quais encontram-se apresentados na Tabela 12. É provável que durante uma operação de sedimentação mais de um tipo ocorra em um dado tempo, sendo mesmo possível que os quatro ocorram simultaneamente (METCALF & EDDY, 1991).

2.6.3.2.2 – Benefícios da adição de coagulantes

A decantação primária do esgoto pode ser beneficiada pela adição de produtos químicos. A coagulação química do esgoto antes de sua decantação promove a floculação dos sólidos finamente divididos em flocos de fácil sedimentação, podendo aumentar eficiência de remoção de sólidos suspensos, DBO e fósforo. Na Tabela 13 encontra-se efetuada uma comparação entre os benefícios da decantação do esgoto precedida ou não da coagulação.

TABELA 12 - Tipos de sedimentação envolvidos no tratamento do esgoto

Tipo de sedimentação	Descrição	Exemplo de aplicação/ocorrência
Discreta	As partículas sedimentam-se individualmente, ou seja, não se aglutinam. Desta forma, são conservadas as suas propriedades físicas, tais como forma, tamanho e densidade. A concentração dessas partículas no líquido é baixa.	Caixas de areia
Floculenta	As partículas aglomeram-se à medida em que se sedimentam. As características são alteradas, com o aumento de tamanho (formação de flocos) e, em decorrência, da velocidade de sedimentação.	Decantadores primários, parte superior dos decantadores secundários e nas unidades de tratamento físico-químico.
Zonal	Quando se tem uma elevada concentração de sólidos, forma-se um manto que sedimenta como uma massa única de partículas (as partículas tendem a permanecer numa posição fixa com relação às partículas vizinhas). Observa-se uma nítida interface de separação entre a fase sólida e fase líquida, e o nível da interface se move para baixo como resultado da sedimentação da manta de lodo. Neste caso, é a velocidade de sedimentação da interface que é utilizada no dimensionamento dos decantadores.	Decantadores secundários
Compressão	Caso a concentração de sólidos seja ainda mais elevada, a sedimentação pode ocorrer apenas por compressão da estrutura das partículas. A compressão ocorre devido ao peso das partículas, constantemente adicionadas como resultado da sedimentação das partículas situadas no líquido sobrenadante. Com a compressão, parte da água é removida da matriz do floco, reduzindo seu volume.	Fundo dos decantadores secundários e nos adensadores por gravidade.

TABELA 13 - Benefícios da adição de coagulantes no desempenho da decantação do esgoto.

Parâmetro	Eficiência de remoção na decantação primária (%)		Incremento (%)
	Coagulação prévia	Sem coagulação	
Sólidos suspensos totais	60 a 90	40 a 70	20
DBO	40 a 70	25 a 40	15 a 30
DQO	30 a 60	15 a 30	15 a 30
Fósforo total	70 a 90	5 a 10	64 a 85
Carga de bactérias	80 a 90	50 a 60	30
Massa de lodo	-	-	50 a 100

Fonte: Adaptada de WEF & ASCE (1992)

O incremento na eficiência de remoção e a possibilidade de se utilizar maiores taxas de carga hidráulica consistem nas principais vantagens de se efetuar a coagulação prévia do esgoto. Como desvantagens, pode-se citar o aumento da massa de lodo primário, a produção de lodo de adensamento e desaguamento relativamente difíceis e o aumento dos custos operacionais. Poderá se ter melhoria na sedimentação, mas problemas no tratamento do lodo (WEF & ASCE, 1992).

Os sais de ferro e alumínio e a cal têm sido os coagulantes mais utilizados no tratamento químico do esgoto. Os sais de ferro têm sido o mais utilizado no tratamento primário. A cal geralmente é pouco utilizada no tratamento primário, visto que produz uma maior quantidade de lodo comparada aos sais metálicos, além desse lodo ser mais difícil de gerenciar.

A seleção do coagulante pode ser feita com o auxílio de ensaios "Jar Tests", que indicará a melhor dosagem e eficiência. Para o cloreto férrico, por exemplo, tem-se utilizado dosagem entre 17 e 35 mg/L. Os custos e as experiências de outras ETEs também devem ser considerados na seleção do coagulante. Em alguns casos tem-se utilizado polímeros orgânicos como auxiliares da floculação, especialmente os aniônicos.

Geralmente tem-se utilizado um gradiente de velocidade na unidade de mistura rápida igual a 300 s^{-1} , embora valores de 1.000 s^{-1} tenha sido utilizado por alguns projetistas. Com relação a floculação, tem-se utilizado tempo de detenção hidráulico na faixa de 20 a 30 minutos, embora valores de 5 minutos tenha sido reportado. O gradiente de velocidade na floculação situa-se na faixa de 50 a 80 s^{-1} .

O emprego de coagulantes para aumentar a eficiência da decantação primária requer a construção de uma unidade de mistura rápida, antecedendo,

obviamente, os decantadores primários. A rápida dispersão do coagulante no esgoto é essencial não somente para minimizar sua dosagem, mas também para minimizar a ocorrência de corrosão do concreto. A coagulação prévia do esgoto pode possibilitar que os decantadores operem com taxa de escoamento superficial três vezes maior.

2.6.3.2.3 – Avaliação da eficiência da decantação primária

Nos decantadores primários, paralelamente aos sólidos sedimentáveis, são removidos os sólidos em suspensão e os sólidos flutuantes presentes no esgoto. A eficiência de remoção de sólidos dessas unidades depende das características dos sólidos, da taxa de escoamento superficial e do tempo de detenção hidráulico. Sendo esses sólidos em suspensão tipicamente orgânicos e, portanto, responsáveis por uma parcela razoável da DBO, considera-se que os decantadores primários são, também, responsáveis pela remoção parcial desta DBO, na fase primária do tratamento (CETESB, 1991).

É importante conhecer-se, além do desempenho da unidade de decantação primária, relacionado com a remoção dos sólidos sedimentáveis, em suspensão e DBO, as características do lodo bruto produzido no que diz respeito ao seu teor de sólidos e umidade.

Os parâmetros que devem ser caracterizados para a avaliação do desempenho dos decantadores primários são: concentração de sólidos (sedimentáveis, suspensos e voláteis), pH, DBO e óleos e graxas do afluente e efluente dessas unidades e concentração de sólidos (sedimentáveis, totais e voláteis) do lodo primário (CETESB, 1991).

Para a concentração de sólidos sedimentáveis, os valores típicos de eficiência de remoção para esgoto sanitário são superiores a 90%; valores abaixo de 80% indicam, em geral, más condições operacionais ou de projeto. Para a concentração de sólidos suspensos, a eficiência de remoção é da ordem de 40 a 60%; valores inferiores a 40% indicam, em geral, má operação, subdimensionamento ou sobrecarga na unidade. Para a concentração de DBO, os valores típicos de eficiência de remoção são da ordem de 25 a 30% (CETESB, 1991).

Os modelos matemáticos ainda não são suficientemente acurados a ponto de permitir sua utilização nos diferentes tipos de sedimentação, devido principalmente à complexibilidade envolvida no fenômeno da floculação. Desta forma, na prática, são realizados testes em colunas de sedimentação,

denominados testes de sedimentação, para o dimensionamento e avaliação da eficiência dos decantadores primários.

A quantidade mínima de esgoto utilizada nos testes de sedimentação deve ser de 25 litros e o esgoto deve ser bombeado pelo fundo da coluna com os agitadores ligados. As colunas devem dispor, ao longo de sua altura, de 3 pontos para coleta de amostras. O ensaio deve possuir duração de aproximadamente 2 horas e amostras devem ser coletadas em intervalos de 15 ou 30 min (ZANINI & BLOMQUIST, 1975).

METCALF & EDDY (1991) recomendam colunas com diâmetro de, no mínimo, 150 mm e altura de 3 m, distância entre os pontos de amostragem de 60 cm e controle de temperatura para evitar correntes de convecção. Vale salientar que no início do teste a coluna deve estar cheia de uma mistura homogênea da suspensão. A concentração de sólidos suspensos totais tem sido o parâmetro mais utilizado para avaliar a remoção da matéria particulada.

No caso da sedimentação do tipo discreta, se a concentração inicial na coluna no instante inicial ($t_0 = 0$) for C_0 , e após um tempo t_i , a concentração se reduzir para C_i , em uma profundidade z_i , então $C_0 - C_i$ da suspensão original terá velocidades de sedimentação maiores que $z_i / (t_i - t_0)$. Repetindo-se esse conceito para diferentes profundidades e tempos, pode-se compor a curva acumulada da porção de partículas com velocidades inferiores ao valor da abscissa.

Na sedimentação floculenta, não se analisa a velocidade de sedimentação de partículas individuais, como no caso da sedimentação discreta, de forma que os resultados dos testes de sedimentação são apresentados na forma de curvas de isoefficiência, mostrando as percentagens de remoção de partículas em determinadas profundidades e tempos. O fato das linhas serem curvilíneas, significa que a floculação ocorreu, em outras palavras que a velocidade de sedimentação variou com o tempo. Se a sedimentação fosse do tipo discreta, as linhas seriam retas (ZANONI & BLOMQUIST, 1975).

2.6.3.2.4 – Remoção de nutrientes

O efluente final das ETEs geralmente contem nutrientes em concentrações que precisam ser removidas antes da disposição final do mesmo. A descarga direta desse efluente, sem remoção dos nutrientes, poderá resultar no crescimento desordenado de plantas aquáticas e algas e, conseqüentemente, na eutrofização do corpo receptor, principalmente em se tratando de águas represadas.

Os principais nutrientes para o crescimento das plantas são o carbono, o fósforo e o nitrogênio. Uma vez que o carbono encontra-se facilmente disponível na maioria das águas (na forma de bicarbonato, por exemplo) e que o nitrogênio pode ser assimilado da atmosfera por alguns tipos de plantas aquáticas, o fósforo tem sido referenciado pela maioria dos pesquisadores como o “nutriente controle” (NESBITT, 1969).

O elemento fósforo pode entrar na ETE por meio de três das seguintes formas:

- durante o processo de tratamento, a maior parte da matéria orgânica e alguns dos fosfatos complexos são removidos ou decompostos em ortofosfatos inorgânicos. Geralmente, após passar pelo tratamento biológico, metade dos fosfatos complexos presentes no esgoto são hidrolizados, transformando-se em ortofosfatos;
- após o tratamento biológico, a maior parte do fósforo encontra-se solúvel, embora uma pequena quantidade de fósforo orgânico insolúvel possa estar presente na forma de protoplasma. Nos esgotos submetidos à precipitação química para remoção de fósforo, a maior parte do fósforo contido no efluente final encontra-se na forma insolúvel (fosfato de ferro, por exemplo);
- em condições anaeróbias, o protoplasma das células se decompõe transformando o fósforo orgânico em fosfato inorgânico solúvel.

Nos Estados Unidos, na década de 60, a concentração de fosfatos presente no esgoto sanitário situava-se entre 10 e 12 mg P/L. Atualmente, devido principalmente à redução do conteúdo de fósforo presente nos detergentes utilizados na limpeza doméstica, esta faixa situa-se entre 3 e 7 mg P/L.

A remoção física do fosfato presente no esgoto deve-se à remoção dos sólidos suspensos, já que o fosfato pode estar incorporado no material particulado presente no esgoto. Os sólidos suspensos capazes de incorporar fosfatos podem ser tanto de natureza biológica (microrganismos) com de natureza química (precipitados com metais solúveis).

A precipitação química dos fosfatos geralmente é feita quando o esgoto, após passar pelos processos de decantação primária e tratamento biológico secundário, ainda possui uma concentração superior ao limite máximo permitido pelos padrões de lançamento nos curso de água. Vale salientar que, no

tratamento de esgoto doméstico típico, a decantação primária e o tratamento biológico secundário removem, no máximo, cerca de 2 mg P/L.

Os processos químicos utilizados para remoção de fosfatos geralmente contam com a formação de ortofosfatos solúveis que podem ser removidos separadamente por meio de processos de separação de sólidos ou conjuntamente com o lodo dos decantares primários e/ou sólidos biológicos descartados. Os processos de remoção de fosfatos podem ser classificados, de acordo com sua localização no sistema de tratamento do esgoto.

A Precipitação Prévia refere-se à adição de produtos químicos ao esgoto bruto e à remoção dos precipitados junto com o lodo primário. A Precipitação Simultânea refere-se à adição de produtos químicos a fim de que os precipitados formados sejam removidos conjuntamente com o lodo biológico a ser descartado. A Precipitação Posterior é a adição de produtos químicos após os processos de tratamento primário ou secundário. Os precipitados formados são removidos em unidades adicionais de separação de sólidos (clarificadores ou filtros, por exemplo).

A precipitação de fosfatos ocorre adicionando-se sais metálicos que formam fosfatos solúveis, tais com cálcio, ferro ou alumínio. No caso da adição de sais de ferro, pode-se obter, como sólidos resultantes, fosfato ferroso [$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$], fosfato férrico [$\text{Fe}_x(\text{OH})_y(\text{PO}_4)_3$], hidróxido ferroso [$\text{Fe}(\text{OH})_2$] e hidróxido férrico [$\text{Fe}(\text{OH})_3$]. Esses precipitados são menos solúveis quando o pH do meio situa-se próximo da faixa de valores ótimos do ponto de vista fisiológico (6 a 8,5).

A precipitação do fosfato contido no esgoto sanitário, devido à adição de sais de ferro ou alumínio, resulta no aumento de massa e volume de lodo primário. Quanto menor for a concentração de fosfato exigida para o efluente final da ETE, maior será o volume e a massa de lodo primário. Estima-se que o incremento de massa e volume de lodo primário, resultante de um tratamento para garantir um efluente final com 1 mg P/L, seja, em média, 26 e 35%, respectivamente.

No entanto, estudos sobre a remoção de fósforo no sistema de Lodos Ativados, devido à adição de sais de ferro e de alumínio ao esgoto sanitário, indicaram que, embora a massa de lodo ativado tenha aumentado, sua sedimentabilidade melhorou e o volume resultante foi praticamente o mesmo. Também foi verificado que, para uma mesma eficiência de remoção, as dosagens

de sais de ferro foram menores que as de sais de alumínio. Para remover 1 mol de fósforo, foi necessário 1 mol de ferro contra 2 moles de alumínio (NESBITT, 1969).

De acordo com NESBITT (1969), embora se possa obter boa remoção de fósforo utilizando-se apenas os processos de coagulação e sedimentação, o efluente final da ETE ainda necessita de polimento. Estudos de laboratório têm indicado que, para se obter uma concentração residual de fosfato no efluente final de uma ETE, é necessário utilizar elevadas dosagens de sais de ferro ou alumínio. Tal fato também tem sido observado em escala real. Os lodos contendo fosfatos de alumínio ou ferro podem ser tratados eficientemente em digestores anaeróbios ou em processos de desaguamento, sem ocorrer liberação de fosfato para o meio líquido.

De acordo com o levantamento bibliográfico efetuado por CORNWELL et al. (1987), alguns pesquisadores têm relatado pequena remoção de nitrogênio no sistema de tratamento de esgoto, devido ao lançamento dos resíduos de ETAs nos mesmos.

2.6.3.2.5 – Estudos de caso

ROLAN & BROWN⁴ apud CORNWELL et al. (1987) realizaram estudos de laboratório para avaliar o desempenho de uma ETE quando submetida a diferentes dosagens de resíduo de uma ETA que utilizava sais de alumínio como coagulante primário. Foram obtidos os seguintes resultados e conclusões:

- a qualidade do sobrenadante dos decantadores primários pode sofrer leve deterioração, com o aumento da dosagem do resíduo de ETA introduzida no esgoto (isto é, sólidos totais do resíduo por litro de esgoto). Para uma dosagem de 50 mg ST/L, a turbidez e a concentração de sólidos suspensos totais no sobrenadante sofreram incremento de 25%; para uma dosagem de 200 mg ST/L, esses parâmetros sofreram incremento de 40%;
- no entanto, em termos da concentração de DBO, o sobrenadante apresentou qualidade levemente superior. Para dosagens de 50 e 200 mg ST/L, a remoção foi de 8 e 10%, respectivamente. Segundo os autores, a adsorção e/ou absorção da matéria orgânica às partículas do resíduo da ETA justificaria o incremento de remoção de DBO;

⁴ ROLAN, A.T.; BROWN, J.C. (1974) Effects of Water Treatment Plant Sludge on the Treatment of Municipal Wastewater. Journal North Carolina Section AWWA, n. 49, v. 1, p. 29.

- a concentração de fósforo presente no sobrenadante dos decantadores primários pode diminuir com o aumento da dosagem do resíduo da ETA. Para dosagens de 50, 100 e 200 mg ST/L, a remoção de fósforo foi de 0,8; 1,3; e 2,5 mg/L respectivamente. Segundo os autores, a matriz de hidróxido de alumínio presente no resíduo da ETA pode ter adsorvido o fósforo contido no esgoto;
- para dosagens de resíduo de ETA inferiores a 200 mg/L, possivelmente não ocorrerão efeitos adversos no desempenho da ETE.

Em trabalho posterior, ROLAN & MATHEWS⁵ apud CORNWELL et al. (1987) realizaram experimentos em escala real com o mesmo tipo de resíduo. O resíduo foi lançado diretamente na entrada de uma ETE com capacidade de 300 L/s durante dois meses, conferindo ao esgoto um incremento de 100 mg SST/L. Os resultados obtidos, em termos da qualidade do efluente final da ETE, foram os seguintes:

- não houve alteração na DBO;
- a concentração de sólidos suspensos totais aumentou de 20 para 40 mg/L;
- quando o resíduo da ETA não foi mais adicionado, o efluente final da ETE voltou a apresentar seu valor inicial de sólidos suspensos totais (20 mg/L);
- a cor aparente aumentou de 50 para 80 UC;
- a concentração de fósforo total diminuiu de 7 para 4 mg/L.

Segundo levantamento bibliográfico efetuado pela ASCE (1996), vários estudos comprovaram que a eficiência dos decantadores primários aumentou com a introdução de resíduos de ETA nas ETEs, quando a dosagem desse resíduo foi inferior a 50 mg/L. Para dosagens acima deste valor, os resultados indicaram deterioração da qualidade do sobrenadante dos decantadores primários. Para dosagem de 200 mg/L, por exemplo, a remoção de sólidos suspensos totais poderia diminuir em aproximadamente 10%.

De acordo com os experimentos relatados acima, a turbidez e os sólidos suspensos totais presentes no sobrenadante dos decantadores primários poderão aumentar ou diminuir, dependendo da dosagem de resíduo de ETAs introduzida nas ETEs.

Segundo a WEF & ASCE (1992), a adição de 20 mg/L de cloreto férrico e 0,2 mg/L de polímero no esgoto, antes de sua decantação primária, resultou em

⁵ ROLAN, A.T.; MATTHEWS, L. (1975) A study of the Effect of Water Treatment Plant Sludges on the Northside Wastewater Plant. City of Durham, N.C. International Report.

um incremento de 45% na produção de lodo. Aproximadamente 35% desse aumento foi devido ao aumento na remoção de sólidos suspensos e os 65% restantes devido à precipitação química e à remoção de colóides. O aumento na produção de lodo primário foi parcialmente compensado pela diminuição na produção de lodo ativado.

Segundo a WEF & ASCE (1992), dentre os polímeros sintéticos utilizados na coagulação do esgoto, os aniônicos têm se mostrado os mais eficientes. Resultados obtidos de ETEs em escala real têm indicado que a remoção de sólidos suspensos aumentou de 66 para 83%, quando a dosagem desse polímero foi de 0,15 mg/L.

De acordo com a ASCE (1996), a presença de sulfato de alumínio ainda presente nos resíduos de ETA pode melhorar a clarificação do esgoto e a sedimentabilidade do lodo primário.

2.6.3.3 – Efeito na Digestão de lodos

2.6.3.3.1 – Produção de lodo nas ETEs

As principais unidades geradoras de lodos nas ETEs são os decantadores primários, os tanques de tratamento secundário do esgoto (sistema de Lodos Ativados, por exemplo) e os decantadores secundários.

O lodo formado nos decantadores primários é composto por sólidos sedimentáveis e suspensos tipicamente orgânicos, de forma que são denominados de lodos frescos ou brutos. Esses lodos são encaminhados para os digestores de lodo, precedidos ou não de unidades de adensamento.

O lodo formado nos tanques de tratamento secundário é composto de microrganismos (bactérias, principalmente), responsáveis pela depuração do esgoto. Quando volume encontra-se em excesso, esses lodos também são encaminhados para os digestores de lodo.

O lodo formado nos decantadores secundários é composto pelos microrganismos que escapam dos tanques de tratamento secundário e que necessitam ser removidos para evitar a deterioração da qualidade do efluente final da ETE. Esse lodo ou são recirculados para os tanques de tratamento secundário, a fim de garantir uma quantidade de microrganismos suficiente para o bom desempenho do processo de tratamento do esgoto, ou são encaminhados para os digestores de lodos.

Segundo VILLAS BOAS (1996), da massa total de lodo recebida pelos digestores, 40% provem dos tanques de tratamento secundário e decantadores secundários e 60% dos decantadores primários.

2.6.3.3.2 – Efeitos na Digestão Aeróbia

A digestão aeróbia é um processo utilizado para estabilização de lodos gerados, principalmente, em ETEs de pequeno porte. No digestor aeróbio, o lodo é aerado para oxidar o substrato orgânico e, quando a concentração deste diminui, os microrganismos começam a consumir seu próprio protoplasma através da respiração endógena. Os principais parâmetros de projeto para os digestores aeróbios são o tempo de detenção hidráulico, a carga de sólidos (voláteis e totais), taxa de oxigênio e consumo de energia para agitação.

A digestão aeróbia produz lodo mais estável e com menos odor que os obtidos pela digestão anaeróbia. O sobrenadante da digestão também apresenta DBO menor que aquele obtido na digestão anaeróbia. Como o processo é menos complexo que o anaeróbio, existem poucos problemas operacionais. Por outro lado, o gasto envolvido com energia elétrica para insuflar oxigênio (ou ar) no sistema, é uma desvantagem desse processo.

Como a digestão aeróbia é similar ao sistemas de Lodos Ativados, os efeitos dos resíduos de ETAs no desempenho desses processos são praticamente os mesmos. Na literatura, existem mais dados disponíveis sobre os impactos dos resíduos de ETA nos sistemas de Lodos Ativados do que na digestão aeróbia.

Para que possam receber os resíduos das ETAs, os digestores aeróbios devem possuir volume adicional para acomodar os sólidos contidos nesses resíduos. Embora a contribuição de sólidos voláteis contidos nos resíduos da ETA seja geralmente baixa, não afetando significativamente a carga de sólidos voláteis no digestor, os impactos desses resíduos no tempo de detenção hidráulico e no tempo de retenção celular, bem como na redução da concentração de sólidos voláteis, devem ser considerados.

Os compostos tóxicos presentes nos resíduos das ETAs podem interferir, de forma prejudicial, no desempenho dos processos de tratamento biológico do esgoto. Dependendo da sua forma e concentração, os sólidos dissolvidos presentes na fase líquida desses resíduos podem interferir no processo biológico.

A equalização prévia dos resíduos de ETAs pode atenuar os problemas relacionados com a toxicidade, uma vez que a descarga contínua de uma diluição viável aumentará a capacidade de adaptação dos microrganismos presentes no processo biológico à presença de qualquer íon inorgânico.

Se a dosagem de resíduo de ETA for equalizada e mantida entre 150 e 200 mg/L, provavelmente não ocorrerá efeito adverso nos sistemas de Lodos Ativados, embora possa ocorrer nos sistemas de tratamento de lodo (ASCE, 1996).

Na Tabela 14 encontram-se apresentadas as concentrações limites, para o processo de Lodos Ativados, de alguns íons metálicos que podem estar presentes nos resíduos de ETAs. Concentrações acima desses valores resultam na diminuição da remoção de DBO.

TABELA 14 - Concentrações limites íons metálicos geralmente encontrados nos resíduos de Estações de Tratamento de Água, para o processo de Lodos Ativados.

Metal pesado	Concentração limite (mg/L)
Cádmio	5
Chumbo	10
Cobre	10
Cromo hexavalente	10
Cromo trivalente	10
Ferro	15
Níquel	2,5
Prata	< 0,03
Vanádio	10
Zinco	5,1

Fonte: CORNWELL et al. (1987)

Outros compostos potencialmente tóxicos, como os fluoretos, o bário, os nitratos, o arsênio e o rádio, também podem estar presentes nos resíduos de ETAs. Elevadas concentrações de nitrato, por exemplo, podem ser problemáticas, caso a ETE utilize processos de desnitrificação. Na verdade, existem poucos estudos sobre a determinação de todos os contaminantes tóxicos presentes nesses resíduos.

2.6.3.3.3 – Efeitos na Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia é um dos processos mais antigos utilizados na estabilização de lodos e, atualmente, é um dos mais difundidos. Neste processo, a matéria orgânica é decomposta na ausência de oxigênio. Os parâmetros de

projeto mais importantes são o tempo de detenção hidráulico, o tempo de retenção celular, a carga de sólidos voláteis, produção de biogás e a redução de sólidos voláteis. Embora os digestores anaeróbios sejam menos eficientes que os aeróbios, os custos envolvidos são menores.

A digestão anaeróbia dos lodos também tem como finalidade destruir as bactérias patogênicas, reduzir o volume de lodo, proporcionar ao lodo desaguamento mais rápida, aproveitar os gases produzidos como fonte de calor e energia e alterar as características do lodo de forma que possam ser dispostos sem causar danos ao meio ambiente (BARLOW, 1974).

O lodo anaeróbio digerido não apresenta odor ofensivo e sua desaguamento ocorre mais rapidamente comparado ao lodo bruto, visto que a separação de suas fases líquida e sólida ocorre mais facilmente. Como o resíduo gerado no processo de desaguamento desses lodos apresenta DBO relativamente baixa, pode-se efetuar sua recirculação para a entrada da ETE, sem causar sobrecarga orgânica na mesma.

O desempenho dos digestores anaeróbios de lodos de ETEs poderá sofrer grandes alterações se, junto a esse lodo, estiverem presentes metais pesados e compostos orgânicos potencialmente tóxicos. Não há dúvidas que a presença de substâncias tóxicas pode inibir e, em alguns casos, interromper a produção de metano.

Os metais pesados são tidos como o principal agente tóxico causador de inibição e colapso nos digestores de lodo. Os efeitos mais comuns destes tóxicos nessas unidades são a redução da taxa de produção de metano e o aumento simultâneo da concentração de ácidos voláteis (SPEECE, 1983). Vale frisar que os principais contaminantes presentes nos resíduos gerados nas ETAs, que podem ser prejudiciais à digestão dos lodos gerados nas ETEs, são os metais pesados, especialmente o ferro e ou alumínio.

Os metais pesados são tóxicos a animais, plantas e microrganismos, embora esteja comprovado que muito desses elementos são fatores nutricionais essenciais, em baixas concentrações. Esses metais, por serem elementos, não são biodegradáveis, sendo esta característica a que mais os diferencia de outros poluentes tóxicos.

A toxicidade depende da concentração da substância no meio e uma substância só é considerada tóxica se estiver na forma solúvel, ou seja, se puder

atravessar a parede celular. Além disso, uma vez que as bactérias anaeróbias encontrem-se adaptadas ao tóxico, elas podem ser expostas a concentrações 50 vezes superiores aquelas obtidas para as não adaptadas (SPEECE, 1983). Na verdade, a definição dos efeitos tóxicos dos compostos inorgânicos sobre os processos biológicos de tratamento de esgoto não é um procedimento simples.

Nos ambientes anaeróbios, pode ocorrer produção de ácidos voláteis em concentrações que resultam em declínio do pH a valores em torno de 5,5. Nestas condições, poderá ocorrer dissolução de metais contidos nos resíduos de ETA (ASCE, 1996).

Em relação à distribuição de metais pesados nas frações do lodo digerido, foi demonstrado que quantidades desprezíveis são encontradas em solução. Praticamente, 90% do total de metal presente é encontrado na fração particulada do lodo (DeWALLE et al., 1979). Tal fato deve-se, principalmente, à precipitação química desses metais como sulfetos, hidróxidos ou carbonatos e a adsorção por polímeros extracelulares das bactérias presentes no lodo. Desta forma, a especiação dos metais é muito importante para se verificar a real influência da toxicidade na digestão de lodos.

Como os metais pesados possuem enorme afinidade por ligantes orgânicos naturais (ácidos húmicos e argilas, por exemplo), geralmente são mais tóxicos para culturas puras que para os digestores, visto que o lodo tem capacidade ligante, retirando os metais da solução e exercendo um papel protetor sobre a biomassa (RODENAS-GARCIA, 1999).

Por outro lado, embora os metais precipitados não exerçam efeito tóxico sobre as bactérias, eles podem ser mobilizados do lodo pelas próprias bactérias, através de resolubilização, por exemplo, devido à ação indireta dos produtos metabólicos que acidificam o meio.

Dentre as bactérias anaeróbias, as metanogênicas são as mais sensíveis aos tóxicos por apresentarem a menor taxa de crescimento, além de utilizarem apenas pequena fração da DQO para síntese celular (SPEECE, 1983).

Na Tabela 15 encontram-se apresentadas as concentrações inibitórias de metais pesados para culturas puras de bactérias metanogênicas geralmente encontradas nos digestores de lodo.

Como se pode observar, a ordem de resistência aos metais pesados foi a seguinte: *Methanobrevibacter* > *Methanospirillum* > *Methanotrix*. Segundo

RODENAS-GARCIA (1996), estas últimas são o gênero de metanogênicas predominante em biodigestores.

Desta forma, não se deve generalizar sobre a sensibilidade da bactérias metanogênicas a substâncias tóxicas, devendo ser levados em conta o gênero predominante e o tipo de ecossistema anaeróbio (digestor, sedimentos, etc.). É possível que dados de toxicidade obtidos em outros ecossistemas não sejam extrapoláveis para digestores anaeróbios, pois esta dependerá do gênero da metanogênica predominantemente presente.

TABELA 15 - Concentrações inibitórias de metais pesados para as culturas puras de bactérias metanogênicas

Gênero de bactéria metanogênica	Concentração do metal (mg/L)						
	Fe	Ni	Cr	Zn	Pb	Cd	Cu
<i>Methanobacterium Formicicum</i>		13.200 ^(c)		8 ^(c)			300 ^(b) 3,5 ^(c)
<i>Methanobacterium Thermoautotrophicum</i>		1.200 ^(c)		3 ^(c)			5 ^(c)
<i>Methanosarcina Barkeri</i>		1.200 ^(c)		9 ^(c)			4 ^(c)
<i>Methanospirillum Hungatei</i>	168 ^(a)	240 ^(c) 58 ^(a)	156 ^(a)	3 ^(b) 1,3 ^(c)	< 207 ^(a)	2 ^(b) 225 ^(a)	3 ^(b) 2 ^(c)
<i>Methanotrix soehngenii</i>	< 56 ^(a)	< 58 ^(a)	< 52 ^(a)		< 207 ^(a)	< 110 ^(a)	
<i>Methanobrevibacter Arboriphilicus</i>	420 ^(a)	223 ^(a)	156 ^(a)		790 ^(a)	337 ^(a)	

(a) Concentração máxima que estimula o crescimento;

(b) Concentração que resulta em inibição total;

(c) Concentração que resulta em 50% de inibição.

Fonte: adaptada de RODENAS-GARCIA (1996)

Concentrações relativamente altas de metais pesados podem ser toleradas pelos digestores anaeróbios, desde que estejam presentes quantidades suficientes de sulfetos para precipitá-los. Todos os metais pesados, à exceção do cromo, formam sais de sulfeto extremamente insolúveis.

De acordo com a ASCE (1996), o cromo, zinco e níquel, combinados ou não, em concentrações de 10 mg/L, não interferem na digestão anaeróbia. Como o coagulante primário utilizado na ETA, cujo resíduos foram estudados, é o cloreto férrico, será dado mais ênfase a esse elemento. Na Tabela 16 encontra-se apresentado valores de concentração de ferro inibitórios para os processos anaeróbios.

Infelizmente, embora existam várias pesquisas sobre a toxicidade nos processos anaeróbios, as diferentes metodologias empregadas e a complexidade envolvida dificultam as interpretações e comparações dos resultados.

Um outro aspecto que dever ser considerado na avaliação do desempenho dos digestores de lodo é a redução do percentual de matéria orgânica volátil no lodo primário, devido à presença de sólidos inertes presentes nos resíduos das ETAs (CORNWELL et al., 1987). O volume e a massa adicionais de lodo também deve ser considerado.

TABELA 16 - Concentrações de ferro inibitórias para os processos anaeróbios

Concentração	Efeito	Fonte
Superior a 2,8 mg Fe solúvel/L ^(a)	Início de inibição	DeWALLE et al. (1979)
Superior a 5,0 mg Fe solúvel/L ^(a)	Início de inibição	POVINELLI (1987)
25.000 mg Fe total/L, na forma de cloretos ^(b)	Inibição total	RODENAS-GARCIA (1996)
81.959 mg Fe total/L, na forma sulfatos ^(b)		

(a) reatores anaeróbios

(b) digestores de lodo

2.6.3.3.3.1 – Testes de tratabilidade e de atividade metanogênica específica de lodos

O teste de tratabilidade de lodo é aplicado ao lodo primário (ou bruto) que alimentará os digestores anaeróbios e tem por objetivo verificar a presença de substâncias prejudiciais que, se introduzidas no digestor seriam letais às bactérias envolvidas no processo. Este teste não tem caráter de quantificar dosagens de contaminantes e poluentes, mas de comparar a produção de gás, em relação a um lodo não tóxico que alimenta um digestor sadio.

Os testes de atividade metanogênica específica medem a taxa máxima de conversão de substratos específicos a metano por unidade de biomassa presente em um lodo anaeróbio submetido ao teste. A concentração de sólidos suspensos voláteis é o parâmetro normalmente utilizado para estimar a biomassa.

Ambos os testes são realizados em escala de laboratório, em que o lodo a ser analisado é incubado em frascos-reatores, acrescido geralmente de inóculo. A alimentação do lodo geralmente é feita em batelada, ou seja, não há alimentação contínua. Em alguns casos, adiciona-se também um meio de cultura favorável ao desenvolvimento das bactérias.

Existe grande dificuldade por parte dos pesquisadores em selecionar a metodologia mais adequada para a realização de testes de atividade metanogênica e testes de tratabilidade de lodos, uma vez que as metodologias propostas divergem em vários aspectos como: medição de metano durante o

teste, purga ou não da pressão interna, tipo de meio de cultura, agitação da amostra, tipo e concentração do substrato, etc..

Os volumes de metano têm sido medidos por deslocamento de líquidos, por análises cromatográficas ou por dispositivos de medição de pressão. Embora seja mais simples e dispense o uso de equipamentos sofisticados, o método do deslocamento de líquido possui precisão questionável, principalmente quando o volume de metano a ser medido é pequeno. Atualmente, este método não é muito utilizado.

Nas análises cromatográficas, embora se utilize equipamento sofisticado, que mede o percentual de metano das amostras do biogás contido na atmosfera dos frascos ("head-space"), o volume de metano perdido a cada amostragem pode ser significativo, de maneira que se faz necessário a estimativa dessa perda, que apresenta certa complexibilidade.

No caso dos dispositivos de medição de pressão convencionais (transdutores de pressão, por exemplo), a pressão interna dos frascos é medida e o volume de metano é calculado estequiometricamente, de maneira que as perdas são minimizadas. No entanto, há necessidade de se conhecer a fórmula química do composto analisado.

Tanto para os medidores de pressão convencionais como o método da cromatografia gasosa, existe o inconveniente de ter que se computar nos cálculos das leituras temporais de metano a fração deste solubilizada no meio líquido, resultante do acúmulo de pressão no interior dos frascos ao longo do ensaio (COLLERAN et al., 1991).

Atualmente, existem dispositivos de medição de pressão mais sofisticados (Respirômetro de Young, por exemplo) que medem continuamente a pressão da atmosfera dos frascos, de modo que, ao longo do ensaio, essa pressão permanece igual à pressão atmosférica local. Conseqüentemente, com relação ao cálculo da fração solúvel no meio líquido, o cálculo da produção de metano torna-se mais simples, já que a solubilidade do metano permanece constante durante todo o ensaio, podendo em alguns casos ser desprezível.

Alguns pesquisadores defendem a tese de que o acúmulo de pressão interna possa interferir de forma prejudicial no metabolismo das bactérias. Um dos argumentos em favor desses pesquisadores seria o fato de que, nos digestores de lodo em escala real, os gases são queimados, de forma que a biomassa permanece sempre submetida a uma pressão próxima a da pressão atmosférica local.

Um dos trabalhos mais importantes sobre testes de atividade metanogênica foi o desenvolvido por PENNA em 1994. O autor procurou otimizar e padronizar os procedimentos envolvidos no ensaio.

SILVA (1974) recomenda a seguinte metodologia para os testes de tratabilidade anaeróbia de lodos:

- frascos de 250 mL;
- relação entre lodo bruto e inóculo igual a 0,5;
- ensaio em duplicata;
- volume útil dos frascos igual a 120 mL;
- temperatura controlada a 35° C;
- medição do volume de gás por deslocamento de líquido, após 24 h de incubação;

CORDEIRO (1993) realizou ensaios de estabilização anaeróbia com resíduos gerados durante a limpeza de decantadores convencionais de uma ETA que utilizava sulfato de alumínio como coagulante primário. Foram adicionados 1.500 mL do resíduo em um erlenmeyer de 2.000 mL, munido de um medidor de gás. A duração do ensaio foi de 120 dias. Apesar dos exames microbiológicos mostrarem que havia grande quantidade de bactérias anaeróbias no resíduo, após seis meses de ensaio, o sistema não apresentou nenhuma manifestação de produção de gás, nem mudança de cor e nem apresentou algum odor. Segundo o autor, as características inorgânicas do resíduo e a provável toxicidade dos metais presentes podem ter sido fatores decisivos para a ineficiência apresentada nos ensaios.

2.6.3.3.4 – Estudos de caso

Com relação aos estudos sobre as interferências de resíduos de ETAs nos digestores aeróbios, não foi encontrada literatura sobre o tema. Os poucos estudos existentes foram realizados com os sistemas de Lodos Ativados. Esses estudos encontram-se descritos no item 2.6.3.3.2.

Com relação à digestão anaeróbia, alguns estudos foram apresentados na revisão bibliográfica efetuada pela ASCE (1996), os quais serão apresentados a seguir.

FOLEY et al. (1989) apud ASCE (1996) introduziram resíduos de ETA que utilizava sais de alumínio diretamente em digestores anaeróbios. Os resultados foram comparados com um digestor controle. Verificou-se aumento na concentração de alumínio no digestor que recebeu o resíduo da ETA. Na Tabela 17 encontram-se apresentados, à título de comparação, alguns parâmetros de qualidade obtidos para os dois digestores estudados.

TABELA 17 – Interferências nas características dos lodos em digestão, devido ao lançamento direto de resíduo de ETA nos digestores de lodo

Parâmetro	Digestor que recebeu resíduo de ETA	Digestor controle (sem resíduo de ETA)
Alumínio	15.000	7.200
Cádmio	16	18
Chumbo	180	160
Cobre	390	400
Cromo	140	140
Ferro	16.000	17.000
Níquel	41	41
pH	7,7	7,6
Prata	16	23
Sólidos totais (%)	2,3	2,5
Sólidos voláteis totais (%)	1,4	1,6
ST/SVT	58	61
Zinco	900	960

Fonte: ASCE (1996)

McTIGUE et al. (1989) apud ASCE (1996) realizaram estudos, em escala real, para verificar as interferências nas unidades de tratamento das ETEs, devido ao lançamento de resíduos de ETAs na rede coletora de esgoto. A ETA utilizava sais de alumínio como coagulante primário. Os resultados indicaram que a massa de lodo digerido aumentou em 46%, resultando também em aumento, na mesma proporção, para a carga de sólidos no sistema de desaguamento. O tempo de detenção hidráulico e a taxa de carga superficial não sofreram alterações significativas. No entanto, o volume de lodo primário sofreu aumento de 59%.

RINDT (1973) apud ASCE (1996) realizou estudos em escala de laboratório para avaliar os impactos de resíduos de ETA a base de alumínio, na digestão anaeróbia. Os resultados indicaram que a produção de gás não foi afetada, a concentração de sólidos totais aumentou, o percentual de sólidos voláteis diminuiu e o pH diminuiu levemente. Também houve remoção de fosfatos inorgânicos.

2.6.3.4 – Efeitos no tratamento biológico do esgoto

Com relação à toxicidade, os processos anaeróbios têm sido considerado mais sensíveis que os aeróbios. No entanto, esta conclusão não é completamente válida. Hoje, sabe-se que as bactérias anaeróbias têm mostrado grande capacidade de adaptação a substâncias tóxicas, de forma que são inibidas praticamente nas mesmas concentrações que as aeróbias. Como o tema toxicidade já foi abordado anteriormente, serão apresentados aqui apenas alguns estudos de caso.

2.6.3.4.1 – Estudos de Caso

Durante a revisão bibliográfica, não foram encontrados estudos sobre as interferências nos processos de tratamento anaeróbio da fase líquida do esgoto, resultantes do lançamento de resíduos de ETAs nas ETEs. Isto se deve ao fato de que a maioria das ETEs de grande porte utilizam os processos aeróbios para tratar a fase líquida do esgoto. Os poucos estudos encontrados foram realizados para os processos de tratamento aeróbio, os quais encontram-se descritos a seguir.

SALOTTO et al.⁶ apud CORNWELL et al. (1987) verificaram a influência de resíduos gerados em unidades de abrandamento (pH em torno de 10) no desempenho de reatores de Lodos Ativados com capacidade de 800 L/dia (escala piloto). A finalidade desse estudo foi efetuar uma comparação com os resultados obtidos com resíduos de ETAs do tipo Ciclo Completo. O reator foi alimentado continuamente com uma dosagem de lodo de abrandamento igual a 200 mg/L, o que resultou em leve aumento na concentração de sólidos do esgoto. Em termos da qualidade do efluente da ETE, verificou-se que a remoção da DQO permaneceu constante, a remoção dos sólidos suspensos totais apresentou leve aumento e que não houve remoção de fósforo.

Segundo CORNWELL et al. (1987), para dosagens de resíduo de ETA inferiores a 200 mg ST/L, provavelmente não ocorre interferência nos processos de Lodos Ativados, desde que sejam precedidos da decantação primária, uma vez que a maioria dos sólidos ficaram retidos no decantador, e que os resíduos sejam equalizados. A decantação prévia impede a sobrecarga de sólidos nos decantadores secundários e mantém a concentração de sólidos suspensos voláteis no “mixed liquor” constante. Embora esses resíduos possam remover o fósforo presente no esgoto, para atender aos padrões de lançamento em cursos de água, tal método de remoção não seria suficiente.

De acordo com MURRAY et al. (1994), os efeitos prejudiciais no tratamento do esgoto e do lodo, devido a tal método de disposição, geralmente são mínimos quando a concentração do resíduo de ETA é inferior a 200.000 mg ST/L.

⁶ SALOTTO, B.V. et al. (1973) The Effect of Water Utility Sludge on the Activated Sludge Process, Journal of American Water Works Association, n. 65, v. 6, p. 431.

2.6.3.5 – Efeitos nos processo de tratamento físico do lodo

Os resíduos de ETAs geralmente contêm quantidade relativamente elevada de sólidos, o que pode resultar em maior deposição de sólidos nas unidades envolvidas no tratamento do esgoto, bem como interferir nos processos de tratamento físico do lodo da ETE (adensamento, desaguamento, etc.).

Experimentos em escala real têm mostrado que geralmente ocorre incremento de volume de lodo nos decantadores primários. Em alguns casos, o sistema de coleta do lodo primário foi incapaz de absorver o lodo resultante, mesmo quando as bombas trabalharam com capacidade máxima (ASCE, 1996).

Segundo a ASCE (1996), embora o volume de lodo primário aumente, a concentração de sólidos do lodo tende a diminuir, quando os resíduos de ETA são lançados na ETE. Experimentos em escala real indicaram redução de 20 a 30% na concentração de sólidos totais do lodo.

Como os equipamentos de desaguamento e densamento são projetados para uma determinada carga de sólidos, dependendo da quantidade de resíduos de ETA introduzida na ETE, pode ocorrer a sobrecarga dos mesmos.

Segundo levantamento bibliográfico efetuado pela ASCE (1996), estudos têm indicado que o grau de desaguamento dos lodos de ETEs, medido através da resistência específica, aumentou com a introdução de resíduos de ETA nas ETEs. Outros estudos têm indicado que a qualidade e teor de lodo desidratado (torta) não sofreu alterações significativas com a introdução de resíduos de ETA na ETE.

2.6.3.5.1 – Estudos de caso

ROLAN & BROWN⁷ apud CORNWELL et al. (1987) realizaram experimentos em escala de laboratório para quantificar o volume adicional de lodo que se formaria nos decantadores primários, caso a ETE passasse a receber resíduos de uma ETA que utilizava sais de alumínio como coagulante primário. Os resultados indicaram que o volume de lodo nos decantadores primários poderia dobrar, para uma dosagem de resíduo de ETA igual a 200 mg ST/L. Segundo esses autores, o incremento no volume de lodo deve-se ao efeito de “entrelaçamento” do lodo de ETA com as pequenas partículas contidas no esgoto.

⁷ ROLAN, A.T.; BROWN, J.C. (1974) Effects of Water Treatment Plant Sludge on the Treatment of Municipal Wastewater. Journal North Carolina Section AWWA, n. 49, v. 1, p. 29.

Posteriormente, ROLAN & MATTHEWS⁸ apud CORNWELL et al. (1987) verificaram que a adição de resíduo de ETA, em uma dosagem de 100 mg ST/L, praticamente dobrou o volume de lodo nos digestores da ETE e diminuiu os percentuais de sólidos digeridos de 4,5 para 4,2% e de sólidos voláteis presentes lodo primário de 68 para 55%.

Resultados similares foram obtidos por SALOTTO et al.⁹ apud CORNWELL et al. (1987), para lodos gerados em unidades de abrandamento. No entanto, não foi verificado aumento no volume de lodo nos decantadores primários. Segundo os autores, tal fato deve-se as melhores características de sedimentação dos lodos a base de cal, quando comparados aos lodos a base de alumínio.

FULTON (1973) desenvolveu estudo para verificar os efeitos na desaguamento de lodos de ETE, quando misturados a lodos de ETAs a base de sais de alumínio. A concentração de sólidos totais presentes no lodo de ETA, de ETE e na combinação desses foi de 40.000; 58.500 e 48.000 mg/L, respectivamente. Como condicionantes, foram utilizados cloreto férrico, cal e polímeros sintéticos. Estes últimos foram utilizados em dosagens variando entre 0,2 a 2%. Foram obtidos os seguintes resultados e conclusões:

- o condicionante a base de cloreto férrico e cal foi o mais eficiente para o lodo da ETE e o lodo combinado, proporcionando-lhes filtrabilidade relativamente alta e grau de desaguamento de 21%;
- o lodo combinado quando condicionado somente com cloreto férrico apresentou resistência específica relativamente alta; além disso, sua torta apresentou o maior teor de umidade e os gastos situaram-se entre os mais onerosos;
- a cal foi o condicionante mais econômico para o lodo combinado, resultando em torta com o menor teor de umidade que a obtida com cloreto férrico e conferindo ao lodo boa filtrabilidade;
- os testes com polímeros não foram muito satisfatórios para o lodo combinado, embora, com a exceção do aniônico, tenham sido para o lodo da ETE. Os polímeros catiônicos apresentaram, de certa forma, resultados razoáveis;

⁸ ROLAN, A.T.; MATTHEWS, L. (1975) A study of the Effect of Water Treatment Plant Sludges on the Northside Wastewater Plant. City of Durham, N.C. International Report.

⁹ SALLOTO, B.V. et al. (1973) The Effect of Water Utility Sludge on the Activated Sludge Process, Journal of American Water Works Association, n. 65, v. 6, p. 431.

- a baixa eficiência obtida com os polímeros talvez deva-se à dosagem utilizada, que, a título de comparação, ficou dentro da faixa de custo utilizada para os demais condicionantes empregados.

Segundo FULTON (1973), os lodos de ETA são mais difíceis de serem tratados que os de ETE. Na Tabela 18 encontram-se apresentadas as principais diferenças relacionadas à tratabilidade dos lodos gerados nas ETAs e dos lodos gerados nas ETEs.

HSU & PIPES (1973) apud ASCE (1996) verificaram o efeito de hidróxido de alumínio na sedimentação primária e secundária do esgoto. Embora a eficiência de sedimentação tenha aumentado significativamente com a adição do hidróxido de alumínio, o volume de lodo gerado não aumentou. Segundo esses autores, o hidróxido de alumínio proporcionaria um lodo mais denso e compacto.

2.6.4 - Legislação

No Brasil, as legislações sobre prevenção e controle da poluição do meio ambiente, tanto de âmbito federal como estadual, em nenhum momento, citam explicitamente os resíduos gerados nas ETAs como poluentes, de forma que se torna difícil se verificar o aspecto legal do gerenciamento e disposição final desses resíduos.

Segundo levantamento efetuado por CORDEIRO em 1993, 93% das agências estaduais brasileiras de saneamento não possuíam legislação ou regulamento que exigissem o tratamento desses resíduos, antes de dispô-los nos cursos de água.

Entretanto, observando os padrões de emissão de efluentes de qualquer fonte poluidora, direta ou indiretamente, nos cursos de água, pode-se notar que, possivelmente, as características dos resíduos de ETAs irão contrariar alguns parâmetros estabelecidos nessas legislações. Na Tabela 19 encontram-se apresentados os padrões de emissão, segundo as legislações federal e do Estado de São Paulo.

TABELA 18 - Comparação entre a tratabilidade de lodos de Estações de Tratamento de Esgoto e de Estações de Tratamento de Água.

Lodos de estações de tratamento de esgoto	Lodos de estações de Tratamento de água
<ul style="list-style-type: none"> • podem ser facilmente desidratados, em filtros a vácuo ou em centrífugas, tanto na sua forma digerida quanto na sua forma bruta; • o lodo digerido pode ser desidratado em leitos de secagem; • podem ser facilmente incinerados após sua desaguamento, independentemente do seu grau de digestão; • podem ser digeridos sob condições controladas, ou, após sua secagem, decomposto em aterros sanitários, resultando em resíduo inofensivo e estável; • após sua secagem, podem ser dispostos em aterros sanitários ou servir como condicionador orgânico para solos. 	<ul style="list-style-type: none"> • podem obstruir a membrana do filtro a vácuo, devido à presença de hidróxidos gelatinosos; tal problema pode ser atenuado caso esses filtros possuam revestimento interno, embora onere os custos; • podem ser desidratados em centrífugas, desde que em concentrações limitadas; no caso, sua secagem só poderá ser feita em leitos ao ar livre em locais de clima seco, embora permaneçam por longo período; • não podem ser incinerados sozinhos, visto que apresentam baixo percentual de sólidos voláteis; • permanecem na forma semi-líquida, a não ser que sejam submetidos a longos períodos de secagem ou congelamento; • a menos que sejam alterados por processos de congelamento ou secagem, sua natureza gelatinosa os fazem um material de baixo valor comercial; • podem ser tóxicos.

Fonte: Fulton (1973)

Observando a Tabela 19, pode-se verificar que a legislação do Estado de São Paulo não se distancia muito da legislação federal, sendo mais restrita apenas com relação as concentrações de cromo, prata, arsênico e selênio. Além disso, alguns parâmetros são definidos apenas em uma das legislações.

De acordo com o levantamento bibliográfico efetuado sobre as características dos resíduos de ETAs, pode-se verificar que parâmetros como sólidos sedimentáveis, ferro solúvel, DBO, arsênico, cobre, chumbo, níquel, encontram-se em concentrações acima da permitida pelas respectivas legislações ambientais. No entanto, vale salientar que, como os resíduos de ETAs apresentam características muito variadas, outros parâmetros poderão estar acima dos limites estabelecidos pelas mesmas e, até mesmo, os mencionados acima poderão estar em concentrações abaixo desses limites.

Os sólidos sedimentáveis e os sais de ferro ou alumínio presentes nos resíduos de ETAs obviamente são os parâmetros de qualidade mais problemáticos, já que encontram-se em concentrações muito acima do permitido.

TABELA 19 - Padrões de emissão de efluentes de qualquer fonte poluidora, direta ou indiretamente, nos cursos de água, segundo as legislações federal e do Estado de São Paulo.

Parâmetro	Limites para o lançamento, direto ou indireto, em cursos de água	
	Legislação Federal (Artigo 21, da Resolução nº 20 de 18 de junho de 1986, do CONAMA)	Legislação do Estado de São Paulo (Artigo 18 do Regulamento da Lei 997/76 aprovado pelo Decreto 15425/80)
Amônia (mg N/L)	5,0	-
Arsênio (mg/L)	0,5	0,2
Bário (mg/L)	5,0	5,0
Boro (mg/L)	5,0	5,0
Cádmio (mg/L)	0,2	0,2
Chumbo (mg/L)	0,5	0,5
Cianetos (mg/L)	0,2	0,2
Cobre (mg/L)	1,0	1,0
Cromo hexavalente (mg/L)	0,5	0,1
Cromo total (mg/L)	-	5,0
Cromo trivalente (mg/L)	2,0	-
DBO	-	Inferior a 60 mg/L ou redução de carga de, no mínimo, 80%
Estanho (mg/L)	4,0	4,0
Fenol (mg C ₆ H ₅ OH/L)	0,5	0,5
Ferro solúvel (mg/L)	15,0	15,0
Fluoretos (mg/L)	10,0	10,0
Manganês solúvel (mg/L)	1,0	1,0
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	Até 1	Até 1
Mercurio (mg/L)	0,01	0,01
Níquel (mg/L)	2,0	2,0
Prata (mg/L)	0,1	0,02
Selênio (mg/L)	0,05	0,02
Sulfitos (mg SO ₃ /L)	1,0	-
Sulfetos (mg S/L)	1,0	-
Zinco (mg/L)	5,0	5,0
pH	5 a 9	5 a 9
Temperatura	Inferior a 40 °C, sendo que a elevação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3 °C	Inferior a 40 °C
Materiais flutuantes	Ausentes	Ausentes
Vazão de lançamento	máxima de até 1,5 vezes da vazão média do período de atividade diária do agente poluidor	Máxima de até 1,5 vezes do valor médio diário
Óleos e graxas (mg/L)	20 (minerais) 50 (animais e vegetais)	100 mg/L (substâncias solúveis em hexana)

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (MMA)

Com relação ao lançamento dos resíduos de ETAs na rede coletora de esgoto, observando a legislação do Estado de São Paulo, sobre os padrões de emissão nos sistemas de esgoto providos de tratamento, pode-se notar que as características dos resíduos de ETA também irão contrariar alguns dos parâmetros estabelecidos por essa legislação. Na Tabela 20 encontra-se apresentado o padrão de emissão de efluentes na rede coletora de esgoto, segundo a legislação do Estado de São Paulo. Mais uma vez, as concentrações de sólidos sedimentáveis e de ferro seriam os parâmetros determinantes.

Nos EUA, por exemplo, em alguns municípios, resíduos de ETA com até 100 mg SST/L podem ser lançados na rede coletora de esgoto. No caso, a limpeza das unidades e o lançamento na rede não podem ocorrer simultaneamente.

Com relação à legislação federal, o artigo 21 da citada Resolução CONAMA 20/86 não se aplica para lançamentos de efluentes em sistemas de esgotos providos de coleta, afastamento e tratamento.

Por outro lado, no Artigo 19-B, parágrafo único, do mesmo Regulamento da Lei 997/76, sobre prevenção e controle da poluição do meio ambiente no Estado de São Paulo, consta: “o lodo proveniente do tratamento das fontes de poluição industrial, bem como o material proveniente da limpeza de fossas sépticas, poderá, a critério e mediante autorização expressa da entidade responsável pela operação do sistema, ser recebido pelo sistema público de esgotos, proibida sua disposição em galerias de águas pluviais ou em corpos de água”.

De acordo com a NBR - 10.004 de setembro de 1987, no seu item 3, Definições, sub-item 3.1 - Resíduos sólidos, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água são classificados como resíduos sólidos.

De acordo com o Artigo 54, 2º parágrafo, da Lei nº 9.605/98, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, se o crime ambiental ocorrer por lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, em desacordo com as exigências em leis ou regulamentos, a pena poderá ser de reclusão de um a cinco anos. No caso dos ETAs, a mesma recorrerá sobre seus administradores, na medida de sua culpabilidade.

TABELA 20 - Padrão de emissão de efluentes em sistemas de esgoto providos de tratamento, segundo a legislação do Estado de São Paulo

Parâmetro	Limites estabelecidos pela legislação do Estado de São Paulo (Artigo 19-A do Regulamento da Lei 997/76 aprovado pelo Decreto 15425/80)
Arsênico (mg/L)	1,5
Cádmio (mg/L)	1,5
Chumbo (mg/L)	1,5
Cianetos (mg/L)	0,2
Cobre (mg/L)	1,5
Cromo hexavalente (mg/L)	1,5
Cromo total (mg/L)	5,0
Estanho (mg/L)	4,0
Fenol (mg/L)	5,0
Ferro solúvel (mg/L)	15
Fluoreto (mg/L)	10
Mercúrio (mg/L)	1,5
Níquel (mg/L)	2,0
Óleos e graxas (mg/L)	150
pH	6 a 10
Prata (mg/L)	1,5
Selênio (mg/L)	1,5
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	20
Sulfato (mg/L)	1.000
Sulfeto (mg/L)	1,0
Temperatura	Inferior a 40 °C
Vazão de lançamento	Contínua, com valor máximo de até 1,5 vezes a média diária
Zinco (mg/L)	5,0

Fonte: CETESB (1999)

Através de contato, via e-mail, com a Coordenadora de Proteção Ambiental do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA), Sra. Zilda Veloso, O prazo dado para as pessoas se ajustarem à Lei 9.605/98, no sentido de promoverem as necessárias correções de suas atividades, foi previsto na Medida Provisória 1.710/98, cuja última reedição tomou o nº 1.874-13, de 28 de julho de 1999, onde estabelecem que as pessoas físicas e jurídicas responsáveis por empreendimentos em curso até 30 de março de 1998 teriam que requerer aos órgãos ambientais integrantes, até 31 de dezembro de 1998, a celebração de Termo de Compromisso prevendo as correções de suas atividades, para atendimento das exigências impostas pelas autoridades ambientais competentes.

Uma vez protocolado o requerimento para firmar o Termo de Compromisso, ficariam suspensas, em relação aos fatos que deram causa à celebração do instrumento, a aplicação de sanções administrativas contra o requerente. Portanto, segundo a Coordenadora, aquele que não providenciou o requerimento dentro do prazo estabelecido, está sujeito a sofrer penalidades administrativas por degradação do meio ambiente. Essas considerações valem para os administradores das ETAs.

De acordo com o Centro de Apoio Operacional às Promotorias de Proteção do Meio Ambiente - CAOPMA (1999), com relação à penalidade para os administradores das ETAs, poderia ser aplicado o artigo 68 da Lei 9605/98 que trata da omissão em obrigação de relevante interesse ambiental, ressaltando-se que a responsabilização na esfera administrativa é independente da esfera criminal.

O decreto que regulamenta a Lei de crimes ambientais foi assinado no dia 26 de setembro de 1999 pelo presidente da república, de forma que a partir desta data, quem infringir a legislação estará sujeito a multas que podem chegar a R\$ 50 milhões. A lei de crimes ambientais está em vigor desde fevereiro de 1998, mas as penalidades administrativas só poderão ser aplicadas a partir de agora. Com relação à poluição do meio ambiente, as multas mais pesadas serão para quem realizar, sem autorização, obras potencialmente poluidoras, como usinas hidrelétricas, perfuração de poços de petróleo e mineração.

De acordo com as considerações acima, pode-se concluir que os resíduos gerados nas ETAs necessitam ser tratados antes de sua disposição final (corpo de água, rede coletora de esgoto ou até mesmo aterro sanitário), visto que dificilmente irão atender aos padrões de emissão exigidos por esses corpos receptores. Embora esses resíduos não se encontrem explicitamente mencionado nas legislações ambientais, os mesmos são vistos como efluentes poluidores, de forma que sua disposição inadequada será enquadrada como infração sujeita à pena.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Introdução

A ETA, cujos resíduos foram utilizados na pesquisa, ETA - Águas do Paiol (ETA-AP), situa-se na cidade de Araraquara (SP) e foi escolhida pela facilidade de coleta dos resíduos, já que possui decantadores com descargas de fundo diárias. Foram estudados apenas os resíduos oriundos da limpeza dos decantadores e filtros, visto que os demais apresentaram volume relativamente desprezível.

Para efeito de estudo, foi considerado que a comunidade abastecida pela ETA possuía rede coletora de esgoto provida de uma estação de tratamento de esgoto (ETE) com decantação primária. Esta configuração foi adotada por ser a mais difundida. Na Figura 3 encontra-se apresentado o desenho esquemático de uma ETE com decantação primária.

Além disso, como pressuposto, foi considerado que os resíduos da ETA seriam equalizados, antes de serem lançados na rede coletora de esgoto, a fim de garantir uma distribuição uniforme na própria rede e na entrada da ETE. Também foi considerado que ambos os sistemas foram capazes de comportar tal incremento de vazão.

As interferências no desempenho da ETE, devidas ao lançamento dos resíduos da ETA na rede coletora de esgoto, foram verificadas por meio de experimentos em escala de laboratório e em escala piloto, conferindo, desta forma, ao presente estudo um caráter de simulação.

FIGURA 03 - Desenho esquemático de uma estação de tratamento de esgoto com decantação primária.

Foram efetivamente estudados somente os decantadores primários e os digestores de lodo, já que, segundo CORNWELL et al. (1987), seriam as unidades mais críticas, já que poderiam reter a maior parte das impurezas contidas nos resíduos de ETAs. Por outro lado, esses estudos também permitiram efetuar uma discussão sobre as possíveis interferências nas demais unidades presentes em uma ETE com decantação primária (unidades de tratamento biológico do esgoto e unidades de desaguoamento de lodos, por exemplo) e, até mesmo, no destino final da torta gerada nas ETEs.

Inicialmente, foi efetuado levantamento dos dados da ETA-AP, necessários ao desenvolvimento da pesquisa. Esta fase foi denominada de **Caracterização da ETA-AP**. Em seguida, foram realizados estudos para verificar os efeitos no desempenho dos decantadores primários e digestores de lodo, devido ao lançamento dos resíduos de ETA na rede coletora de esgoto. Esta fase foi denominada de **Estudos de Simulação**. Estes, por sua vez, foram subdivididos em **Estudos Individuais e Estudos Conjuntos**.

Os Estudos Individuais tiveram por objetivo simular, separadamente, as interferências de cada um dos resíduos gerados na ETA no desempenho da ETE, enquanto os Estudos Conjuntos de simular as interferências do resíduo total gerado na ETA. Fizeram parte dos Estudos Individuais, os **ESTUDOS 1, 2 e 3**. Os **ESTUDOS 4, 5 e 6** fizeram parte dos Estudos Conjuntos. Todas as atividades que foram desenvolvidas no estudo proposto encontram-se na forma de organograma (ver pág. 83, fig. 6 a 11).

3.2 – Caracterização da ETA-AP

Nesta fase, foi efetuado levantamento de dados relacionados às características da ETA-AP, tais como: variação mensal média das vazões de água bruta e tratada, características e dosagem dos produtos químicos, variação mensal média das vazões dos resíduos gerados durante a limpeza dos decantadores e filtros e variação mensal dos principais parâmetros de qualidade da água bruta e dos resíduos (pH, turbidez, metais, sólidos, etc.).

O principal objetivo desta caracterização foi estimar o percentual médio de resíduo de ETA contido no esgoto sanitário, ou seja, no afluente da suposta ETE.

3.3 - Estudos de Simulação

3.3.1 - Coleta de amostras dos resíduos gerados na ETA-AP e do esgoto sanitário

A coleta dos resíduos da ETA-AP foi feita através de bomba submersível instalada no canal de descarga de resíduos, comum aos decantadores e filtros. Foram coletadas amostras contínuas e seriadas. As primeiras foram utilizadas para compor as amostras representativas dos resíduos, enquanto as últimas tiveram como objetivo verificar a variação da concentração dos mesmos, em termos de sólidos suspensos totais e turbidez, durante a limpeza de cada unidade. Este procedimento é importante para verificar a necessidade da equalização dos resíduos, antes de seu tratamento ou disposição final.

O esgoto sanitário foi coletado de uma derivação da rede de esgoto da cidade de São Carlos (SP), situada atrás do Laboratório de Processos Anaeróbios da EESC/USP. Vale salientar que o contato com esses resíduos foi revestido de cuidados especiais, tais como: utilização de luvas, botas, roupas de plástico, além de vacinação contra doenças como tétano, difteria e tifo.

3.3.2 - Simulação dos efeitos nos decantadores primários

O desempenho dos decantadores primários foi avaliado por meio de testes de sedimentação, com diferentes amostras compostas por esgoto sanitário e resíduo de ETA, de modo a representar as variações do afluente da suposta ETE. Esses estudos partiram do pressuposto que não ocorreria deposição dos sólidos contidos nos resíduos de ETA nas unidades de tratamento que antecedem os decantadores primários.

Os testes de sedimentação foram realizados em colunas de sedimentação com volume de 145 L, diâmetro de 30 cm e altura de 2,20 m, munidas de agitadores, e dispostas, ao longo de sua altura, de três pontos para coleta de amostras e três pontos para aplicação de condicionantes químicos. A distância entre os pontos de coleta de amostras foi de 70 cm. Na Figura 4, encontra-se ilustrado o desenho esquemático das colunas de sedimentação utilizadas na pesquisa.

Das quatro colunas de sedimentação construídas, uma serviu como controle ("ou branco"), de forma que foi preenchida apenas com esgoto sanitário, simulando, desta forma, a condição de decantadores não alimentados pelos resíduos da ETA-AP. As demais foram sempre preenchidas com a mistura de esgoto e resíduo da ETA-AP.

A fim de padronizar os testes de sedimentação, em termos da qualidade do esgoto, foi utilizado um tanque de equalização de 1.000 L, munido de agitador, para uniformização do esgoto antes de sua adução às colunas de sedimentação. As colunas foram preenchidas com esgoto por meio de uma bomba centrífuga de rotor aberto.

Durante o enchimento das colunas de sedimentação com esgoto, os agitadores foram mantidos ligados, a fim de evitar sedimentação indesejável de partículas. Após as colunas atingirem sua capacidade útil (130L), as que receberiam resíduos da ETA-AP foram drenadas em um volume igual ao do resíduo de ETA a ser adicionado. Foi adotado tempo de mistura de 30 minutos e um gradiente de 300 s^{-1} (150 rpm), a fim de se obter uma mistura representativa do afluente da ETE, cuja rede de esgoto recebesse resíduos de ETA.

FIGURA 04 - Detalhe das colunas de sedimentação utilizadas na pesquisa.

Em seguida, os agitadores foram desligados, mediu-se a temperatura do líquido e, assim que a lâmina líquida se estabilizou, foi cronometrado o tempo de sedimentação. A duração do ensaio foi de duas horas, visto que equivale ao tempo de detenção hidráulico geralmente utilizado no projeto dos decantadores primários (METCALF & EDDY, 1991). Na Figura 5 encontra-se ilustrada a instalação experimental utilizada para os testes de sedimentação.

Durante o teste de sedimentação, foram coletadas 120 mL de amostra dos três diferentes pontos de cada coluna de sedimentação, em intervalos de 15 min, para determinação de sólidos suspensos totais e turbidez. No entanto, nos tempos 0, 60 e 120 min, foram coletadas, também, 800 mL de amostra, para uma caracterização mais completa do sobrenadante de cada coluna (DQO, sólidos, metais, pH, nitrogênio, fosfatos, alcalinidade, cloretos, cálcio, magnésio e coliformes totais e fecais). Esta caracterização também serviu de subsídios para

avaliação das eventuais interferências nos processos de tratamento secundário da fase líquida do esgoto. Vale salientar que a amostra retirada da coluna controle no tempo "0" equívaleu ao esgoto sanitário bruto.

FIGURA 05 - Foto da instalação experimental utilizada nos testes de sedimentação

Os resíduos da ETA-AP foram caracterizados em termos de DQO, sólidos (suspensos, totais e voláteis), turbidez, metais, pH, nitrogênio, fosfatos, alcalinidade, cloretos, cálcio, magnésio, coliformes totais e fecais.

Antes de serem utilizados nos testes de tratabilidade anaeróbia, os lodos obtidos nos testes de sedimentação (lodo primário) foram caracterizados em termos de metais, pH, sólidos (totais e voláteis), cálcio, magnésio, viscosidade, resistência específica e densidade. Tal caracterização também contribuiu para as discussões sobre as prováveis interferências nos processos de tratamento físico da fase sólida do esgoto e, até mesmo, na disposição final da mesma.

Com relação aos metais, é evidente que o ferro seria o elemento mais preocupante, já que a ETA-AP utilizava cloreto férrico como coagulante primário. No entanto, preferiu-se também determinar outros metais, visto que, segundo o levantamento bibliográfico efetuado, as impurezas contidas nos coagulantes comercializados podem ser significativas.

3.3.3 - Simulação do efeitos nos digestores de lodo

Para verificar as possíveis interferências nos digestores de lodo da suposta ETE que trataria o esgoto produzido pela comunidade abastecida pela ETA, foram realizados testes tratabilidade anaeróbia do material composto pelo lodo formado nas colunas de sedimentação e inóculo. Este foi obtido de um reator anaeróbio que tratava o mesmo tipo de esgoto utilizado nos testes de sedimentação.

Preferiu-se adotar a digestão anaeróbia para os lodos primários, por ser o processo mais utilizado para digestão de lodos de ETEs. Além disso, a maior complexidade envolvida nesse processo, comparado ao aeróbio, pode torná-lo mais sensível aos resíduos de ETA. A metodologia proposta para os testes de tratabilidade anaeróbia de lodos encontra-se descrita abaixo:

- réplica do ensaio: duplicata;
- temperatura do ensaio: 30° C (controlada);
- volume total dos frascos-reatores: 620 mL;
- volume útil dos frascos-reatores: 300 a 400 mL;
- relação entre a concentração de sólidos suspensos voláteis do lodo primário e concentração de sólidos suspensos voláteis do inóculo (F/M) igual a 0,5;
- agitação do meio: contínua, com auxílio de agitador mecanizado ("Shaker");
- concentração de sólidos suspensos voláteis do inóculo utilizada em cada frasco-reator: 9 g/L;
- pH de início do teste: 7,0;
- redução do meio líquido: borbulhamento com nitrogênio puro (100%), durante cinco minutos;
- medição do volume de metano nos frascos-reatores: leitura da pressão interna dos frascos e cromatografia gasosa;
- periodicidade das medidas de metano: duas vezes por dia;
- encerramento do teste: 1 mês após a incubação dos frascos;
- análises intermediárias: microscopias ótica e eletrônica de varredura;

Finalizados esses testes, o lodo digerido contido em cada frasco-reator foi caracterizado em termos de metais, pH, cálcio, magnésio, viscosidade e resistência específica, a fim de verificar suas eventuais interferências nos processos de tratamento físico e na disposição final da fase sólida do esgoto.

3.3.4 – Metodologias utilizadas nas análises e exames de amostras líquidas e sólidas

Com exceção da microscopia eletrônica de varredura, viscosidade, densidade, resistência específica e digestão dos lodos para análise de metais, os demais exames e análises foram realizados de acordo com o "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" publicado pela APHS et al. (1995).

A metodologia utilizada na preparação de amostras para Microscopia Eletrônica de Varredura foi a recomendada por NATION¹⁰ (1983) e modificada por ARAÚJO (1995).

A viscosidade dos lodos foi determinada através de um viscosímetro programável do tipo DV-III (Reômetro), operado a partir de um computador e fabricado pelo laboratório Brookfield. Por praticidade, a Densidade dos lodos foi calculada pela equação de MONTGOMERY (1985) apud AWWARF & KIWA (1990).

Com relação ao cálculo da Resistência Específica dos lodos, foi feita uma adaptação das metodologias mencionadas por GRANDIN (1993) e por CORNWELL et al. (1987). Na verdade, a diferença básica entre a metodologia adotada e as mencionadas por esses autores foi o volume de amostra utilizado no teste. Como o volume de lodo primário formado na coluna controle era pequeno, preferiu-se utilizar amostras de 25 mL. A metodologia adotada foi a descrita a seguir:

- papel de filtro Whatman nº 41;
- área filtrante 50 mm²;
- volume da amostra de lodo igual a 25 mL;
- pressão do vácuo igual a 400 mm Hg;
- cálculo da resistência específica pela equação recomendada por CORNWELL et al. (1987).

Com relação à Digestão dos resíduos de ETA e dos lodos de ETE para análise de metais, inicialmente, foi estabelecido que seria utilizada a digestão nitro-perclórica (HNO₃-HClO₄), já que, segundo a APHS (1995), é a que tem maior poder oxidação, sendo mais indicada para matéria orgânica de difícil oxidação e minerais. Como a maioria das impurezas contidas nos resíduos de ETA é

¹⁰ NATION, J.L. (1983) A new method using hexamethyldisilazane for preparation of soft tissues for scanning electron microscopy. Stain Technology, n. 58, v. 6, p. 347-351.

composta por matéria inerte, esta metodologia seria a mais indicada para determinar a concentração total de um determinado metal.

No entanto, testes preliminares com amostras de lodos de ETEs (primários e digeridos), os quais são compostos em sua maioria por matéria orgânica facilmente oxidável, resultaram em perda de massa durante a digestão, mesmo utilizando-se protetores. Esses problemas junto com proposta de padronização de análises e exames solicitada pelo PROSAB, no qual essa pesquisa fez parte, resultou no abandono dessa metodologia.

Vale ressaltar que, para um determinado metal, a concentração obtida por qualquer que seja o método de digestão nem sempre é que estará disponível de forma a interferir no metabolismo dos microrganismos.

A metodologia utilizada foi uma adaptação da digestão nitro-clorídrica ($\text{HNO}_3\text{-HCl}$) descrita em APHA et al. (1995) e encontra-se descrita abaixo:

- pesar aproximadamente 0,5 g da amostra seca à 100° C;
- colocar a amostra em um erlenmeyer devidamente limpo;
- adicionar 50 mL de uma solução de 50% de ácido nítrico (HNO_3);
- colocar o erlenmeyer contendo a amostra, já em meio ácido, em uma chapa aquecedora;
- quando a amostra apresentar consistência e coloração similar ao mel de abelha, retirar da chapa e deixar em temperatura ambiente por 10 min;
- após esse intervalo, adicionar 50 mL de solução contendo 50% de ácido clorídrico (HCl) e voltar a amostra para a chapa aquecedora;
- quando a amostra estiver quase seca, retirar o erlenmeyer da chapa, adicionar aproximadamente 20 mL de água destilada;
- filtrar a amostra em membrana do tipo ME 25 (45 μm), adicionando, no máximo, 20 mL de água destilada;
- completar o volume filtrado com água destilada até 100 mL;
- leitura no espectrofotômetro de absorção atômica.

Estudos comparativos preliminares indicaram que, para as amostras do resíduo de ETA, a concentração de metal pesado obtida por digestão nitro-perclórica foi de 10 a 30% superior ao valor obtido com a digestão nitro-clorídrica.

3.3.5 - Estudos Individuais

A finalidade desses estudos foi verificar as interferências da quantidade e concentração de sólidos suspensos de cada um dos resíduos de ETA no desempenho das unidades da ETE. A possibilidade de recirculação da fase líquida

desses resíduos não foi considerada aqui, de modo que ambos foram estudados na sua forma bruta.

De posse dos valores mensais médios de vazão de resíduos e água tratada produzidos pela ETA-AP, foram determinados os percentuais volumétricos mínimos, médios e máximos entre o resíduo de ETA e o esgoto sanitário, ou seja, a variação da quantidade do resíduo de ETA introduzido na ETE.

A vazão média mensal de esgoto foi estimada multiplicando-se a vazão média mensal de água tratada pelo coeficiente de retorno de 0,8. As vazões dos resíduos da ETA-AP foram fornecidas pelo Departamento de Água de Esgoto (DAE) do município de Araraquara.

Desta forma, as relações volumétricas mínima, média e máxima entre os resíduos da descarga de fundo dos decantadores e o esgoto foram iguais a 2,3; 3,7; e 4%, respectivamente. Para os resíduos da lavagem de filtros, as relações volumétricas foram iguais a 0,8; 1,0; e 1,6%, respectivamente.

Uma vez que a concentração de sólidos suspensos nos resíduos de ETA poderiam variar sazonalmente, alterando, conseqüentemente, a qualidade do afluente da ETE, foram realizados testes de sedimentação para verificar a interferência da concentração desses resíduos no desempenho da ETE. Uma caracterização prévia dos resíduos da ETA-AP foi realizada para verificar a variação sazonal da concentração de sólidos suspensos.

Os resultados dessa caracterização indicaram que a concentração mínima, média e máxima de sólidos suspensos totais presentes nos resíduos da descarga de decantadores foi igual a 600, 1.000 e 4.500 mg/L, respectivamente. Para os resíduos da lavagem de filtros, esse parâmetro variou entre 300 e 500 mg/L. Como esta variação foi relativamente pequena, adotou-se para todos os estudos uma concentração constante de 500 mg SST/L.

Os primeiros estudos verificaram as interferências da quantidade dos resíduos gerados durante a descarga de fundo dos decantadores, com concentração média de sólidos suspensos totais de 1.000 mg/L, no desempenho das unidades da ETE. Para isso, foram utilizados percentuais volumétricos mínimo, médio e máximo, entre esses resíduos e o esgoto sanitário, iguais a 2, 4 e 6%, respectivamente. Esse estudo foi denominado de **ESTUDO 1**.

Posteriormente, foram realizados estudos para verificar as interferências da concentração de sólidos suspensos contidos nos resíduos gerados durante a descarga de fundo dos decantadores nas unidades da ETE. Para isso, foram

utilizados resíduos com concentrações de 1.000, 3.000 e 4.500 mg SST/L e percentual volumétrico médio entre esses resíduos e o esgoto (4%). Esse estudo foi denominado de **ESTUDO 2**.

No caso dos resíduos gerados durante a lavagem de filtros, foram realizados estudos para verificar apenas as interferências de sua quantidade no desempenho das unidades da ETE. Para isso, foram resíduos com concentração de sólidos suspensos máxima de 500 mg/L e relações volumétricas mínima, média e máxima entre esses e o esgoto de 1, 3 e 6%, respectivamente. Esses estudos foram denominados de **ESTUDO 3**.

A composição dos resíduos da ETA-AP, em termos de sólidos suspensos totais, foi feita a partir da decantação dos mesmos, visando o descarte de seu sobrenadante ou a descarga de fundo do material sedimentado.

3.3.6 - Estudos Conjuntos

Esses estudos verificaram as interferências da quantidade e concentração do resíduo total gerado na ETA (descarga de fundo dos decantadores e lavagem de filtros) nas unidades da ETE. A possibilidade da clarificação dos resíduos da lavagem de filtros foi considerada. A clarificação dos resíduos da descarga de decantadores não foi considerada, porque, segundo a revisão bibliográfica efetuada, tal procedimento apresenta restrições devido à problemática relacionada ao acúmulo de cistos parasitológicos na ETA.

O primeiro desses estudos verificou a interferência da quantidade do resíduo total da ETA no desempenho das unidades da ETE. Para isso, foram utilizados percentuais volumétricos mínimo, médio e máximo, entre resíduo e o esgoto, iguais a 3, 5 e 7%, respectivamente, e resíduo com concentração média igual a 900 mg SST/L. Vale salientar que 78% do volume total de resíduo gerado na ETA-AP resultava da descarga de fundo dos decantadores, enquanto 22% da lavagem de filtros. Esse estudo foi denominado de **ESTUDO 4**.

Posteriormente, foram verificadas as interferências da concentração do resíduo total da ETA. No caso, utilizou-se a relação volumétrica média entre resíduo e esgoto (5%) e resíduos com concentração de 900, 2.500 e 3.500 mg SST/L. Esse estudo foi denominado de **ESTUDO 5**.

Os últimos estudos foram realizados para verificar as interferências da quantidade do resíduo total da ETA (lodo da clarificação dos resíduos da lavagem de filtros e resíduo da descarga de fundo dos decantadores) no desempenho das

unidades da ETE. Para a clarificação dos resíduos da lavagem dos filtros foi utilizado o processo de decantação/adensamento. Esses ensaios foram realizados nas mesmas colunas utilizadas nos testes de sedimentação e esses resíduos foram sempre compostos de forma a atender concentração de 500 mg SST/L.

Para aumentar a eficiência do processo de clarificação, foi utilizado polímero aniônico em uma dosagem de 1,0 mg/L (3 mg de polímero por kg de SST do resíduo). Esse tipo de polímero e dosagem foram as condições ótimas recomendadas por Souza Filho (1998), em seu estudo sobre a clarificação dos resíduos gerados durante a lavagem de filtros da ETA-AP, efetuado com diferentes tipos de polímeros. Segundo AWWASC & KIWA (1990), dentre os polímeros sintéticos, os aniônicos também têm se mostrado mais eficientes, sendo sua dosagem ótima também em torno de 1,0 mg/L.

O polímero foi injetado em três diferentes pontos, distribuídos ao longo da coluna de sedimentação. Foi adotado tempo de sedimentação de 30 min. O lodo obtido foi caracterizado em termos de metais, DQO, pH, sólidos, nitrogênio, fósforo, alcalinidade, cloretos, cálcio, magnésio, coliformes totais e fecais.

Para compor o resíduo total da ETA, o lodo resultante da clarificação dos resíduos da lavagem dos filtros foi misturado ao resíduo da descarga de fundo dos decantadores, de acordo com as proporções que cada um desses resíduos representa no volume total (22 e 78%, respectivamente). Desta forma, comparado ao volume de resíduo da descarga de fundo dos decantadores adicionado ao esgoto, o volume de lodo clarificado foi consideravelmente menor.

A concentração dos resíduos da descarga de decantadores foi de 2.500 mg SST/L e os percentuais volumétricos entre o resíduo total e esgoto foram iguais a 5, 7 e 9%. Esse estudo denominado de **ESTUDO 6**. Nas Figuras 6 a 11 encontram-se ilustrados os organogramas de todos os estudos realizados nessa pesquisa.

FIGURA 06 – Organograma das atividades realizadas no ESTUDO 1

FIGURA 07 – Organograma das atividades realizadas no ESTUDO 2

FIGURA 08 – Organograma das atividades desenvolvida no ESTUDO 3

FIGURA 09 – Organograma das atividades desenvolvidas no ESTUDO 4

FIGURA 10 – Organograma das atividades desenvolvidas no ESTUDO 5

FIGURA 11 – Organograma das atividades desenvolvidas no ESTUDO 6

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 – Características da ETA-AP

4.1.1 – Capacidade e tecnologia de tratamento

A Estação de Tratamento de Água – Águas do Paiol (ETA-AP) possui capacidade de 80 L/s e é alimentada pelas águas do córrego do Paiol, por meio de uma adutora, em ferro fundido, de 300 mm de diâmetro e 1.800 m de extensão. A tecnologia de tratamento utilizada na ETA-AP é a do tipo Ciclo Completo, de forma que envolve os processos de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoreação e correção de pH. Na Figura 12 encontram-se apresentadas as fotos da fachada do prédio administrativo e da vista parcial da ETA-AP.

FIGURA 1 - Fotos da fachada do prédio administrativo e da vista parcial da ETA-AP

A ETA-AP é composta basicamente de calha parshall, que também funciona como unidade de mistura rápida; quatro floculadores mecanizados; dois decantadores de alta taxa contendo módulos tubulares; e quatro filtros rápidos de fluxo descendente operados com taxa declinante e meio filtrante de antracito e areia. Na Figura 13, encontram-se ilustradas as fotos das principais unidades de tratamento presentes na ETA-AP.

a) Foto da calha parshall

b) Foto dos floculadores

c) Foto dos decantadores

d) Foto da bateria de filtros

FIGURA 2 - Fotos das principais unidades de tratamento presentes na ETA-AP

4.1.2 – Qualidade da água bruta

A DAE do município de Araraquara elabora mensalmente relatórios sobre a qualidade da água bruta da ETA-AP, em termos dos seguintes parâmetros físicos e químicos: cor aparente, turbidez, pH, alcalinidade, dureza, dióxido de carbono, nitratos, cloretos, sulfatos, metais pesados, oxigênio dissolvido, oxigênio consumido e sólidos dissolvidos totais. Os três primeiros parâmetros são determinados diariamente com amostras coletadas a cada duas horas, enquanto os demais trimestralmente e com uma única amostragem. Na Tabela 21 encontra-se apresentada a caracterização da água bruta que alimenta a ETA-AP, segundo DAE-Araraquara.

TABELA 21 - Caracterização da água bruta da Estação de Tratamento de Água estudada (ETA-AP)

Parâmetros	Faixa de valores	Período de observação
Alcalinidade a carbonatos (mg/L)	10 a 16	1995
Alumínio (mg/L)	0 a 0,04	1995 a 1998
Bário (mg/L)	0 a 9,0	1995 a 1998
Cádmio (mg/L)	0 a 0,005	1995
Chumbo (mg/L)	0 a 0,002	1995
Cloretos (mg/L)	2 a 7	1995
Cobre (mg/L)	0 a 1,1	1995 a 1998
Cor aparente (UC)	63 a 282 ^(a)	1995
Cromo (mg/L)	0 a 0,12	1995 a 1998
Dióxido de carbono (mg/L)	2 a 4	1995
Dureza total (mg/L)	18 a 32	1995
Ferro (mg/L)	0 a 2,3	1995 a 1998
Manganês (mg/L)	0,011 a 0,75	1995 a 1998
Nitratos (mg/L)	8 a 10	1995
Oxigênio consumido (mg/L)	0,9 a 4	1995
Oxigênio dissolvido (mg/L)	8,2 a 10	1995
pH	6,3 a 6,5 ^(a)	1995
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	10 a 320	1995 a 1998
Sulfatos (mg/L)	0,8 a 1,0	1995
Turbidez (UT)	8 a 1.400 ^(b) 15 a 76 ^(a)	1995 a 1998 1995
Zinco (mg/L)	0 a 0,08	1995 a 1998

(a) Referente aos valores médios mensais

(b) Referente aos valores mínimos e máximos mensais

Fonte: adaptado dos Relatórios do DAE-Araraquara

Uma vez que, dentre os parâmetros avaliados pelo DAE-Araraquara, a turbidez é o que mais interfere na qualidade dos resíduos, foi efetuado levantamento de seus valores mínimos e máximos mensais. Na Figura 14 encontra-se apresentada a variação mensal de turbidez mínima *minimorum* e máxima *maximorum* presente na água bruta que alimenta a ETA-AP.

Observa-se que a variação entre os valores extremos de turbidez é significativa, de modo que o valor médio mensal pode não ser representativo, principalmente quando se dispõe de poucos dados. Para o período de estudo, a diferença máxima entre esses valores foi da ordem de 1.400 UT e a mínima de 13 UT.

FIGURA 14 - Variação de turbidez para a água bruta da ETA-AP

Por outro lado, como a quantidade de dados mensais de turbidez levantados para a ETA-AP foi da ordem de 360 valores, foi analisada, a título de ilustração, a variação dos valores médios mensais de turbidez para o ano de 1995. Na Figura 15 encontra-se apresentada a variação mensal dos valores médios de turbidez da água bruta para a ETA-AP.

FIGURA 15 -Variação dos valores médios mensais de turbidez para o ano de 1995

Observando as Figuras 14 e 15, pode-se verificar que a água bruta apresenta maior turbidez no verão e menor no inverno. Isto se deve às características climáticas da região sudeste, com verões quentes e chuvosos e invernos secos e

amenos. O aumento da turbidez da água bruta na época de chuva se deve ao carreamento de partículas do solo para o Córrego do Paiol.

4.1.3 – Tipos e dosagens de produtos químicos

Os produtos químicos empregados na ETA-AP são: cloreto férrico líquido (coagulação), cal (correção de pH), cloro gasoso e hipoclorito de sódio (desinfecção) e ácido fluossilícico (prevenção de cárie dentária).

Segundo Relatórios do DAE-Araraquara, para o ano de 1995, o consumo médio mensal de cloreto férrico, cal, cloro e flúor foi de 26; 33; 3; e 0,8 g/m³ de água bruta, respectivamente. Na Figura 16 encontra-se apresentada a variação do consumo médio mensal de cal e cloreto férrico em função dos valores médios mensais de turbidez.

FIGURA 16 - Consumo médio mensal de cloreto férrico e cal, em função dos valores médios mensais de turbidez da água bruta, para a ETA-AP

Observando a Figura 16, pode-se verificar que o consumo de cloreto férrico e cal tende a aumentar em consequência do aumento da turbidez da água bruta. Uma vez que o mecanismo de coagulação na ETA-AP é o de varredura, o aumento de turbidez na água bruta geralmente requer uma maior dosagem de coagulante.

As únicas unidades de preparação de produtos químicos existentes na ETA-AP são os tanques de preparação de cal. No entanto, estas unidades são muito pequenas comparadas aos filtros e decantadores e geralmente são limpas a cada dez dias, de modo que seus resíduos apresentam volume relativamente desprezível.

4.1.4 – Procedimento de limpeza dos decantadores e filtros

A limpeza dos decantadores da ETA-AP é realizada diariamente por meio de descargas de fundo. Em cada decantador, geralmente são efetuadas três descargas por dia. O tempo da descarga varia entre 2 e 5 minutos, apresentando um valor médio de 3 minutos. O surgimento flocos na superfície dos decantadores é o parâmetro utilizada pelos operados para efetuar a descarga de fundo.

A descarga de fundo se dá por abertura manual de válvulas e sua duração, na verdade, é subjetiva. No caso, o operador fecha a válvula, quando julga que o resíduo apresenta-se clarificado, supondo, portanto, que todo o lodo já foi removido.

Com relação aos filtros, a lavagem do meio filtrante é feita com insuflação de ar seguida de lavagem com água no sentido ascensional. Água utilizada para lavagem dos filtros é a própria água filtrada, sem desinfecção e correção de pH, a qual é armazenada em reservatório elevado a fim de garantir pressão suficiente para expansão do meio filtrante. São gastos, em média, 13 m³ de água filtrada em cada lavagem. O tempo de lavagem dos filtros é da ordem de 6 minutos.

4.1.4.1 – Variação da concentração dos resíduos durante a descarga de fundo dos decantadores e a lavagem dos filtros

Nas Figuras 17, 18 e 19 encontram-se ilustradas as variações da concentração de sólidos suspensos totais e turbidez presentes no resíduo durante a operação de descarga de fundo dos decantadores da ETA-AP, para as condições mínima, média e máxima de tempo de descarga e concentração do resíduo equalizado.

Pode-se observar que as curvas que representam a variação de turbidez e sólidos suspensos totais durante a descarga de fundo dos decantadores são praticamente coincidentes, independentemente do tempo da descarga e da concentração do resíduo após sua equalização. Desta forma, como a determinação da turbidez é praticamente instantânea, na prática, este parâmetro seria suficiente para avaliação de tal comportamento.

FIGURA 17 - Variação de SST e turbidez durante a descarga de fundo dos decantadores, para tempo de descarga de 2 min e SST e turbidez, após equalização, de 700 mg/L e 300 UT, respectivamente

FIGURA 18 - Variação de SST e turbidez durante a descarga de fundo dos decantadores, para tempo de descarga de 3 min, e SST e turbidez, após equalização, de 1.000 mg/L e 600 UT, respectivamente

FIGURA 19 - Variação de SST e turbidez durante a descarga de fundo dos decantadores, para tempo de descarga de 5 min, e SST e turbidez, após equalização, de 4.500 mg/L e 4.350 UT, respectivamente

A coleta de amostras nos instantes iniciais da descarga não foi possível, porque o nível da água no canal de descarga não atingia o mínimo necessário para o funcionamento da bomba. No entanto, esse volume inicial de água mais clarificada é praticamente desprezível.

Vale salientar que foi efetuada coleta de resíduo mesmo após o fechamento da válvula de descarga, visto que, devido às configurações do canal de coleta de resíduos na ETA-AP, um grande volume de resíduo ainda ficava retido a montante da bomba. Por isso é que o tempo de descarga é inferior ao de coleta de amostras.

A variação da concentração dos resíduos durante a descarga de fundo dos decantadores pode ser melhor analisada através da Figura 20. Nesta figura, a concentração de sólidos suspensos totais, para as diferentes condições de duração da descarga e concentração final dos resíduo, encontra-se adimensionalizada em um único gráfico.

FIGURA 20 - Variação de SST durante a descarga de fundo dos decantadores (SST_i = sólidos suspensos totais em um tempo qualquer e SST_{max} = valor máximo dos sólidos suspensos totais durante a descarga)

De acordo com a Figura 20, pode-se observar que os sólidos retidos nos decantadores são eliminados na forma de pulso, de forma que a equalização dos resíduos, antes de seu tratamento ou disposição final, possivelmente será necessária. A maior parte dos sólidos retidos no decantador é eliminada nos primeiros 90 s de descarga.

Os picos de sólidos suspensos totais e turbidez ocorreram nos primeiros 30s de descarga. Tal fato se deve ao aumento na concentração do lodo nas camadas inferiores do decantador, ou seja ao adensamento do lodo. Todos os dados levantados durante esta fase encontram-se disponíveis no anexo A.

Na Figura 21 encontram-se ilustradas as fotos da descarga de fundo dos decantadores da ETA-AP, para diferentes intervalos de tempo.

a) Instantes iniciais da descarga

b) Após 30 segundos de descarga

c) Após 1 minuto de descarga

d) Após 2 minutos de descarga

FIGURA 1 - Fotos ilustrando a variação da concentração de sólidos no resíduo durante a operação de descarga de fundo dos decantadores da ETA-AP

Nas Figuras 22, 23 e 24 encontram-se ilustradas as variações da concentração de sólidos suspensos totais e turbidez presentes no resíduo durante a operação de lavagem dos filtros da ETA-AP, para as condições mínima, média e máxima de concentração do resíduo equalizado, respectivamente.

FIGURA 2 - Variação de SST e turbidez durante a lavagem de filtros da ETA-AP, para SST e turbidez, após equalização, de 200 mg/L e 140 UT, respectivamente

FIGURA 23 - Variação de SST e turbidez durante a lavagem de filtros da ETA-AP, para SST e turbidez, após equalização, de 300 mg/L e 180 UT, respectivamente

FIGURA 24 - Variação de SST e turbidez durante a lavagem de filtros da ETA-AP, para SST e turbidez, após equalização, de 400 mg/L e 240 UT, respectivamente

A variação da concentração dos resíduos da lavagem dos filtros também pode ser melhor analisada através de gráfico representando a concentração adimensional, como mostra a Figura 25.

FIGURA 25 - Variação adimensional de SST no resíduo durante a lavagem dos filtros (SST_i = sólidos suspensos totais em um tempo qualquer e $SST_{máx}$ = valor máximo dos sólidos suspensos totais)

Observando a Figura 25, pode-se verificar que a maior parte dos sólidos retidos nos filtros também é descartada na forma de pulso, de forma que os resíduos de sua lavagem provavelmente necessitarão ser equalizados antes do tratamento ou disposição final. Independentemente da concentração do resíduo após equalização, os picos de sólidos suspensos e turbidez ocorrem em 180 s de lavagem. Vale salientar que, inicialmente, os filtros são drenados, de forma que o resíduo inicial se deve à água decantada.

Praticamente todos os sólidos retidos no meio filtrante são removidos nos primeiros 5 minutos de lavagem, de forma que não se justificam lavagens muito longas. As mesmas considerações são válidas para a turbidez.

Na Figura 26 encontram-se ilustradas as fotos da lavagem do filtro da ETA-AP, para diferentes intervalos de tempo.

FIGURA 6 - Fotos ilustrando as diversas etapas da lavagem dos filtros da ETA-AP

4.1.4.2 – Quantidade de resíduo gerada

A maior parte dos resíduos gerados na ETA-AP deve-se a descarga de fundo dos decantadores, diferentemente das ETAs cujos decantadores são do tipo convencional com limpeza manual. O volume de resíduo da lavagem de filtros corresponde, em média, a 28% do resíduo total, enquanto o da descarga de fundo dos decantadores a 72%. Na Tabela 22 encontram-se apresentados os valores de volume dos resíduos gerados na ETA-AP, para período de observação de 1995 a 1998.

TABELA 22 - Volume de resíduos gerados na ETA-AP

Tipo de resíduo	Volume diário (m ³)		
	Mínimo	Médio	Máximo
Resíduo gerado durante a descarga de decantadores	50	97	149
Resíduo gerado durante a lavagem de filtros	17	38	66

Fonte: Adaptado dos Relatórios do DAE-Araraquara.

O percentual de água bruta gasta na descarga de fundo dos decantadores variou entre 1,5 e 4% e o percentual de água tratada gasta na lavagem dos filtros entre 0,5 a 1,5%. Esses valores foram próximos aos mencionados na revisão bibliográfica. Na Figura 27 encontra-se ilustrada a variação média mensal do volume de resíduos gerados durante a limpeza de filtros e decantadores, em função do volume médio mensal de água aduzida à ETA-AP.

Observa-se que não houve correlação entre a quantidade de resíduos gerada com o volume de água bruta aduzida à ETA-AP. Na verdade, a qualidade da água bruta é que mais interfere na quantidade de resíduos gerada. Na Figura 28 encontra-se ilustrada a variação média mensal do volume de resíduos gerados durante a limpeza de filtros e decantadores da ETA-AP, em função dos valores médios mensais de turbidez da água bruta.

FIGURA 27 - Variação do volume de resíduos produzidos na ETA-AP, em função do volume de água aduzida

FIGURA 28 - Variação do volume de resíduos produzidos na ETA-AP, em função dos valores médios de turbidez da água bruta.

Observando a Figura 28, pode-se verificar que o volume mensal de resíduo gerado durante a lavagem dos filtros tendeu a diminuir com o aumento dos valores médios mensais de turbidez da água bruta. Como o arraste de flocos dos decantadores para os filtros tende a aumentar com a diminuição da turbidez da água bruta, a carreira de filtração seria menor e, conseqüentemente, o volume de resíduos da lavagem dos filtros aumentaria. Vale ressaltar que o coeficiente de correlação entre esses valores foi de 0,6. Para os resíduos da descarga de decantadores, e não houve correlação significativa.

Com relação à taxa dos valores médios de turbidez (UT/m^3 de água bruta/mês), o comportamento foi o mesmo. Isto se deve ao fato de que não existiu correlação entre os valores médios de turbidez com a vazão de água bruta, como se pode observar na Figura 29.

FIGURA 29 – Correlação entre valores médios mensais de turbidez e valores mensais de volume de água bruta, para a ETA-AP

4.1.5 – Eficiência do sistema

Com exceção da turbidez, os demais parâmetros utilizados para caracterização da água tratada na ETA-AP apresentaram-se de acordo com os Padrões de Potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 36/GM de 19 de janeiro de 1990. Na Figura 30 encontra-se apresentada a eficiência da ETA-AP em termos de remoção de turbidez. Pode-se observar, principalmente para o ano de 1995, que a turbidez da água tratada foi superior a 1,0 UT, contrariando, desta forma, os Padrões de Potabilidade vigentes.

FIGURA 30 - Variação de turbidez para a água bruta e tratada da ETA-AP

4.2 – Estudos de simulação

4.2.1 – Interferências no desempenho dos decantadores primários

4.2.1.1 – Remoção de sólidos suspensos totais e turbidez

Os resultados dos testes de sedimentação indicaram que houve aumento na eficiência da sedimentação em consequência do aumento da concentração e quantidade de resíduo de ETA introduzido no esgoto (ou seja, da dosagem de resíduo aplicada ao esgoto).

Para as dosagens utilizadas (5 a 225 mg ST/L), não houve deterioração da qualidade do sobrenadante das colunas de sedimentação, em termos de SST e turbidez. Pelo contrário, houve aumento na remoção desses parâmetros em consequência do aumento da quantidade e concentração desses resíduos no esgoto. Tal aumento deve-se principalmente ao entrelaçamento (“enmeshement”) das pequenas partículas presentes no esgoto com os hidróxidos de ferro contido no resíduo da ETA, de forma que o fenômeno envolvido seria essencialmente físico. Vale salientar que o fenômeno da floculação foi nitidamente visível.

Esses resultados vêm de encontro aos mencionados na revisão bibliográfica, os quais indicaram que, para dosagens acima de 50 mg ST/L, a qualidade do sobrenadante dos decantadores primários tenderia a se deteriorar.

A grande variação da qualidade dos resíduos de ETAs pode justificar a diferença entre os resultados. Vale salientar que os dados mencionados na revisão bibliográfica referem-se a estudos realizados em países do hemisfério norte, com resíduos predominantemente a base de sais de alumínio e com decantadores não operados com descarga de fundo diárias.

No anexo B, encontram-se apresentados, na forma de tabelas, os resultados dos testes de sedimentação para os diferentes estudos efetuados. Nas Figuras 31 a 54 encontra-se apresentada a remoção de sólidos suspensos totais e turbidez, para os diferentes estudos realizados.

FIGURA 31 - Fração de sólidos suspensos totais iniciais sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 1

FIGURA 32 - Fração da turbidez inicial sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 1

FIGURA 33 - Fração de sólidos suspensos totais iniciais sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 2

FIGURA 34 - Fração da turbidez inicial sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 2

FIGURA 35 - Fração de sólidos suspensos totais iniciais sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 3

FIGURA 36 - Fração da turbidez inicial sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 3

FIGURA 37 - Fração dos sólidos suspensos totais iniciais sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 4

FIGURA 38 - Fração da turbidez inicial sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 4

FIGURA 39 - Fração dos sólidos suspensos totais iniciais sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 5

FIGURA 40 - Fração da turbidez inicial sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do estudo (ESTUDO 5)

FIGURA 41 - Fração da turbidez inicial sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 6

FIGURA 42 - Fração de sólidos suspensos totais inicial sedimentando com velocidade menor ou igual a considerada, para o teste de sedimentação do ESTUDO 6

Para o ESTUDO 1, a concentração de SST e de turbidez do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 112, 88, 87 e 83 mg/L e 146, 114, 112 e 99 UT, para coluna contendo relação volumétrica entre resíduo da descarga de decantadores e esgoto igual a 0, 2, 4 e 6%, respectivamente. Comparado ao sobrenadante da coluna controle (0%), isto representa um incremento na remoção de SST e de turbidez de 21, 22 e 26% e 22, 23 e 32%, para as relações volumétricas de 2, 4 e 6%, respectivamente.

A concentração de SST e a turbidez para o resíduo da descarga dos decantadores foi de 1.275 mg/L e 580 UT, respectivamente. Para o esgoto, esses parâmetros foram iguais a 281 mg SST/L e 248 UT, respectivamente. Para os percentuais volumétricos de 2, 4 e 6%, o incremento resultante na concentração de SST e na turbidez do esgoto foi de 6, 13 e 35 mg/L e 7, 14 e 21 UT, respectivamente. Vale salientar que a dosagem do resíduo da descarga de decantadores aplicada no esgoto variou entre 20 e 60 mg SST/L.

Para o ESTUDO 2, a concentração de SST do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 98, 96 e 100 mg/L, para coluna que recebeu resíduo da descarga de decantadores com concentração de 1.000, 3.000 e 4.500 mg SST/L, respectivamente. Para a turbidez, os valores foram de 126, 128 e 115 UT, respectivamente. O sobrenadante da coluna controle no final do teste apresentou 118 mg SST/L e 156 UT. Desta forma, o incremento na remoção de SST foi de 17, 19 e 15% e na remoção de turbidez de 19, 18 e 26%, quando o resíduo apresentou 1.000, 3.000 e 4.500 mg SST/L, respectivamente.

A turbidez para as três diferentes composição do resíduo da descarga dos decantadores foi de 1.400, 2.800 e 4.300 UT. Para o esgoto, os SST foram iguais a 179 mg/L e a turbidez igual a 225 UT. Para concentração do resíduo da descarga de decantadores de 1.000, 3.000 e 4.500 mg SST/L, o incremento resultante na concentração de SST e turbidez no esgoto foi 79, 188 e 192 mg/L e 24, 81 e 127 UT, respectivamente. Vale salientar que a dosagem do resíduo da descarga de decantadores aplicada no esgoto variou entre 50 e 225 mg SST/L.

Para o ESTUDO 3, a concentração de SST do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 110, 100, 98 e 85 mg/L, para coluna contendo relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto de 0, 1, 3 e 6%, respectivamente. Para a turbidez, os valores foram de 163, 158, 137 e 116 UT, respectivamente. Comparando ao sobrenadante da coluna controle, isto

representa um incremento na remoção de SST de 10, 11 e 23% e na remoção de turbidez de 3, 16 e 29%, para as relações volumétricas de 1, 3 e 6%, respectivamente.

A concentração de SST e a turbidez para o resíduo da lavagem do filtro foi de 500 mg/L e 393 UT. Para o esgoto, esses parâmetros foram iguais a 145 mg SST/L e 220 UT. Para os percentuais volumétricos de 1, 3 e 6%, o incremento resultante na concentração de SST e na turbidez do esgoto foi de 33, 43 e 50 mg/L e 14, 15 e 17 UT, respectivamente. Vale salientar que a dosagem do resíduo da lavagem de filtros aplicada no esgoto variou entre 5 a 30 mg SST/L.

Para o ESTUDO 4, a concentração de SST do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 100, 76, 82 e 64 mg/L, para coluna contendo relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto de 0, 3, 5 e 7%, respectivamente. Para a turbidez, os valores foram de 102, 87, 94 e 81 UT, respectivamente. Comparando ao sobrenadante da coluna controle, isto representa um incremento na remoção de SST de 24, 18 e 36% e na remoção de turbidez de 15, 9 e 21%, para as relações volumétricas de 3, 5 e 7%, respectivamente.

A concentração de SST e a turbidez para o resíduo total da ETA foi de 900 mg/L e 691 UT. Para o esgoto, esses parâmetros foram iguais a 130 mg SST/L e 130 UT. Para os percentuais volumétricos de 3, 5 e 7%, o incremento resultante na concentração de SST e na turbidez do esgoto foi de 22, 34 e 52 mg/L e 18, 27 e 38 UT, respectivamente. Vale salientar que a dosagem do resíduo total da ETA aplicada no esgoto variou entre 30 e 70 mg SST/L.

Para o ESTUDO 5, a concentração de SST do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 120, 89 e 78 mg/L, para coluna que recebeu resíduo total da ETA com concentração de 900, 2.500 e 3.500 mg SST/L, respectivamente. Para a turbidez, os valores foram de 87, 68 e 64 UT, respectivamente. O sobrenadante da coluna controle no final do teste apresentou 132 mg SST/L e 109 UT. Desta forma, o incremento na remoção de SST foi de 9,23 e 41% e na remoção de turbidez de 20, 38 e 41%, quando o resíduo apresentou concentração de 900, 2.500 e 3.500, respectivamente.

A turbidez para as três diferentes composição do resíduo total da ETA foi de 676, 1.825 e 3.077 UT. Para o esgoto, a concentração de SST foi igual a 260 mg/L e a turbidez igual a 167 UT. Quando a concentração do resíduo total da ETA foi de 900, 2.500 e 3.500 mg SST/L, o incremento resultante na concentração de

SST e turbidez do esgoto foi de 45, 90 e 186 mg/L e de 9, 46 e 72 UT, respectivamente. Vale salientar que a dosagem do resíduo total da ETA aplicada no esgoto variou entre 25 e 175 mg SST/L.

Para o ESTUDO 6, a concentração de SST do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 110, 64, 52 e 48 mg/L, para coluna contendo relação volumétrica entre resíduo total da ETA (resíduo da descarga de decantadores e lodo da clarificação dos resíduos da lavagem de filtros) e esgoto de 0, 5, 7 e 9%, respectivamente. Para a turbidez, os valores foram de 123, 70, 59 e 62 UT, respectivamente. Desta forma, o incremento na remoção de SST foi de 41, 52 e 56% e na remoção de turbidez de 43, 52 e 49%, quando as relações volumétricas foram de 5, 7 e 9%, respectivamente.

A concentração de SST e a turbidez para o resíduo da descarga de decantadores foi 2.400 mg/L e 1.400 UT, respectivamente. Para o lodo da clarificação dos resíduos da lavagem dos filtros, a concentração de SST foi de 5.700 mg/L. Já o esgoto apresentou 220 mg SST/L e 238 UT. Para os percentuais volumétricos de 3, 5 e 7%, o incremento resultante na concentração de SST e na turbidez do esgoto foi de 80, 150 e 170 mg/L e 45, 62 e 79 UT, respectivamente. Vale salientar que a dosagem do resíduo total da ETA no esgoto variou entre 105 a 195 mg SST/L e que, no ESTUDO 6, o resíduo total da ETA continha polímero aniônico.

4.2.1.2 – Remoção de sólidos totais

A caracterização do sobrenadante das colunas de sedimentação também indicou aumento de remoção de sólidos totais com o aumento da quantidade e concentração do resíduo de ETA introduzido no esgoto. Nas Figuras 55 a 60 encontram-se ilustradas a remoção de sólidos totais para os diferentes estudos.

Para o ESTUDO 1, a concentração de ST do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 420, 398, 394 e 366 mg/L, para as colunas contendo relação volumétrica entre resíduo da descarga de decantadores e esgoto de 0, 2, 4 e 6%, respectivamente. Desta forma, o incremento na remoção de ST foi de 5, 6 e 13%, para os percentuais de 2, 4 e 6%, respectivamente. O resíduo da descarga dos decantadores e o esgoto apresentaram concentrações de 1.500 e 620 mg ST/L, respectivamente.

FIGURA 43 - Remoção de sólidos totais para o ESTUDO 1

FIGURA 44 - Remoção de sólidos totais para o ESTUDO 2

FIGURA 45 - Remoção de sólidos totais para o ESTUDO 3

FIGURA 46 - Remoção de sólidos totais para o ESTUDO 4

FIGURA 47 - Remoção de sólidos totais para o ESTUDO 5

FIGURA 48 - Remoção de sólidos totais para o ESTUDO 6

Para o ESTUDO 2, a concentração de ST do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 394, 386, 378 e 324 mg/L, para as colunas que receberam resíduo da descarga de decantadores com 1.000, 3.000 e 4.500 mg SST/L, respectivamente. Desta forma, o incremento na remoção de ST foi de 2, 4 e 18%, quando a concentração do resíduo foi de 1.000, 3.000 e 4.500 mg SST/L, respectivamente. O esgoto apresentou concentração 434 mg ST/L.

Para o ESTUDO 3, a concentração de ST do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 560, 580, 560 e 534 mg/L, para as colunas contendo relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto de 0, 1, 3 e 6%, respectivamente. Desta forma, praticamente não houve variação significativa na remoção de ST. O resíduo da lavagem de filtros e o esgoto apresentaram concentrações de 758 e 602 mg ST/L, respectivamente.

Para o ESTUDO 4, a concentração de ST do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 328, 316, 316 e 310 mg/L, para as colunas contendo relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto de 0, 3, 5 e 7%, respectivamente. Desta forma, o incremento na remoção de ST foi de 4, 4 e 5%, para os percentuais de 3, 5 e 7%, respectivamente. O resíduo total da ETA e o esgoto apresentaram concentrações de 1.000 e 350 mg ST/L, respectivamente.

Para o ESTUDO 5, a concentração de ST do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 404, 386, 340 e 320 mg/L, para as colunas que receberam resíduo total da ETA com 900, 2.500 e 3.500 mg SST/L, respectivamente. Desta forma, o incremento na remoção de ST foi de 4, 16 e 21%, quando a concentração do resíduo foi de 900, 2.500 e 3.500 mg SST/L, respectivamente. O esgoto apresentou concentração 528 mg ST/L e as diferentes composições do resíduo total, 1.150, 2.600 e 3.700 mg ST/L.

Para o ESTUDO 6, a concentração de ST do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 428, 334, 370 e 350 mg/L, para as colunas contendo relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto de 0, 5, 7 e 9%, respectivamente. Desta forma, o incremento na remoção de ST foi de 22, 16 e 18%, para os percentuais de 5, 7 e 9%, respectivamente. O resíduo da descarga de decantadores, o lodo da clarificação dos resíduo da lavagem de filtro e o esgoto apresentaram concentrações de 2.500, 5.700 e 564 mg ST/L, respectivamente.

4.2.1.3 – Remoção de sólidos voláteis totais

A caracterização do sobrenadante das colunas de sedimentação também indicou aumento de remoção de sólidos voláteis totais com o aumento da quantidade e concentração do resíduo da ETA-AP introduzido nas mesmas. Para dosagem de resíduo da ETA-AP, introduzida no esgoto, de 235 mg ST/L, a remoção de sólidos voláteis, comparada à coluna controle, dobrou. Nas Figuras 61 a 66 encontram-se ilustradas a remoção de sólidos voláteis totais para os diferentes estudos.

Para o ESTUDO 1, a concentração de SVT do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 226, 212, 210 e 204 mg/L, para as colunas contendo relação volumétrica entre resíduo da descarga de decantadores e esgoto de 0, 2, 4 e 6%, respectivamente. Desta forma, o incremento na remoção de SVT foi de 6, 7 e 10%, para os percentuais de 2, 4 e 6%, respectivamente. O resíduo da descarga de decantadores e o esgoto apresentaram concentração de 495 e 392 mg SVT/L, respectivamente. O percentual de matéria orgânica presente no resíduo da descarga de decantador foi de 33%.

Para o ESTUDO 2, a concentração de SVT do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 310, 260, 240 e 238 mg/L, para as colunas que receberam resíduo da descarga de decantadores com 1.000, 3.000 e 4.500 mg SST/L, respectivamente. Desta forma, o incremento na remoção de SVT foi de 16, 23 e 23%, quando a concentração do resíduo foi de 1.000, 3.000 e 4.500 mg SST/L, respectivamente. Para as três composições do resíduo da descarga de decantadores, a concentração foi de 320, 645 e 820 mg SVT/L. O percentual de matéria orgânica presente nessas composições foi de 25, 20 e 17%, respectivamente. Para o esgoto, a concentração foi de 360 mg SVT/L.

Para o ESTUDO 3, a concentração de SVT do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 350, 308, 279 e 230 mg/L, para as colunas contendo relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto de 0, 1, 3 e 6%, respectivamente. Desta forma, o incremento na remoção de SVT foi de 12, 20 e 34%, para os percentuais de 1, 3 e 6%, respectivamente. O resíduo da lavagem de filtros e o esgoto apresentaram concentração de 396 e 410 mg SVT/L,

FIGURA 49 - Remoção de sólidos voláteis totais para o ESTUDO 1

FIGURA 50 - Remoção de sólidos voláteis totais para o ESTUDO 2

FIGURA 51 - Remoção de sólidos voláteis totais para o ESTUDO 3

FIGURA 52 - Remoção de sólidos voláteis totais para o ESTUDO 4

FIGURA 53 - Remoção de sólidos voláteis totais para o ESTUDO 5

FIGURA 54 - Remoção de sólidos voláteis totais para o ESTUDO 6

respectivamente. O percentual de matéria orgânica presente no resíduo da lavagem de filtros foi de 50%.

Para o ESTUDO 4, a concentração de SVT do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 258, 200, 196 e 180 mg/L, para as colunas contendo relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto de 0, 3, 5 e 7%, respectivamente. Desta forma, o incremento na remoção de SVT foi de 22, 24 e 30%, para os percentuais de 3, 5 e 7%, respectivamente. O resíduo total da ETA e o esgoto apresentaram concentrações de 300 e 268 mg SVT/L, respectivamente. O percentual de matéria orgânica no resíduo da ETA foi de 30%.

Para o ESTUDO 5, a concentração de SVT do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 154, 138, 130 e 85 mg/L, para as colunas que receberam resíduo da descarga de decantadores com 900, 2.500 e 3.500 mg SST/L, respectivamente. Desta forma, o incremento na remoção de SVT foi de 10, 16 e 45%, quando a concentração do resíduo foi de 900, 2.500 e 3.500 mg SST/L, respectivamente. Para as três composições do resíduo total da ETA, a concentração foi de 338, 616 e 792 mg SVT/L. O percentual de matéria orgânica presente nessas composições foi de 25, 20 e 17%, respectivamente. Para o esgoto, a concentração foi de 264 mg SVT/L.

Para o ESTUDO 6, a concentração de SVT do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 238, 230, 224 e 216 mg/L, para as colunas contendo relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto de 0, 5, 7 e 9%, respectivamente. Desta forma, o incremento na remoção de SVT foi de 3, 6 e 9%, para os percentuais de 5, 7 e 9%, respectivamente. O resíduo da descarga de decantadores e o lodo da clarificação apresentaram concentração de 461 e 1.100 mg SVT/L, respectivamente. Os percentual de matéria orgânica presente nos mesmos foi de 18 e 19%, respectivamente. O esgoto apresentou concentração de 378 mg SVT/L.

4.2.1.4 – Remoção de DQO

A caracterização do sobrenadante das colunas de sedimentação também indicou aumento de remoção de DQO com o aumento da quantidade e concentração do resíduo de ETA introduzido no esgoto. Tal fato também se deve a floculação do esgoto, resultante da presença de hidróxidos de ferro no resíduo da ETA. Nas Figuras 67 a 72 encontram-se ilustradas a remoção de DQO para os diferentes ESTUDOS.

FIGURA 55 - Remoção de DQO para o ESTUDO 1

FIGURA 56 - Remoção de DQO para o ESTUDO 2

FIGURA 57 - Remoção de DQO para o ESTUDO 3

FIGURA 58 - Remoção de DQO para o ESTUDO 4

FIGURA 59 - Remoção de DQO para o ESTUDO 5

FIGURA 60 - Remoção de DQO para o ESTUDO 6

Para o ESTUDO 1, a concentração de DQO do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 413, 380, 370 e 350 mg/L, para as colunas contendo relação volumétrica entre resíduo da descarga de decantadores e esgoto de 0, 2, 4 e 6%, respectivamente. Desta forma, o incremento na remoção de DQO foi de 8, 10 e 15%, para os percentuais de 2, 4 e 6%, respectivamente. O resíduo da descarga de decantadores e o esgoto apresentaram DQO de 248 e 739 mg/L, respectivamente.

Para o ESTUDO 2, a concentração de DQO do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 319, 315 e 312 mg/L, para as colunas que receberam resíduo da descarga de decantadores com 1.000, 3.000 e 4.500 mg SST/L, respectivamente. Para a coluna controle a concentração foi de 418 mg/L. Desta forma, o incremento na remoção de DQO foi de 24, 25 e 25%, quando a concentração do resíduo foi de 1.000, 3.000 e 4.500 mg SST/L, respectivamente. Para essas diferentes composições, a DQO foi de 229, 386 e 520 mg/L. A DQO do esgoto foi de 533 mg/L.

Para o ESTUDO 3, a concentração de DQO do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 445, 413, 398 e 346 mg/L, para as colunas contendo relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto de 0, 1, 3 e 6%, respectivamente. Desta forma, o incremento na remoção de DQO foi de 7, 11 e 22%, para os percentuais de 1, 3 e 6%, respectivamente. O resíduo da lavagem de filtros e o esgoto apresentaram DQO de 66 e 574 mg/L, respectivamente.

Para o ESTUDO 4, a concentração de DQO do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 340, 324, 310 e 290 mg/L, para as colunas contendo relação volumétrica entre resíduo total e esgoto de 0, 3, 5 e 7%, respectivamente. Desta forma, o incremento na remoção de DQO foi de 5, 9 e 15%, para os percentuais de 3, 5 e 7%, respectivamente. O resíduo total da ETA apresentou DQO igual a 84 mg/L, respectivamente. O esgoto apresentou DQO igual a 376 mg/L.

Para o ESTUDO 5, a concentração de DQO do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 333, 273 e 233 mg/L, para as colunas que receberam resíduo total da ETA com 900, 2.500 e 3.500 mg SST/L, respectivamente. Para a coluna controle, a concentração foi de 395 mg DQO/L. Desta forma, o incremento na remoção de DQO foi de 16, 31 e 41%, quando a concentração do resíduo foi de 900, 2.500 e 3.500 mg SST/L, respectivamente.

Para essas diferentes composições do resíduo, a DQO foi de 133, 307 e 463 mg/L. A DQO do esgoto foi de 500 mg/L.

Para o ESTUDO 6, a concentração de DQO do sobrenadante no final do teste de sedimentação foi de 379, 279, 267 e 253 mg/L, para as colunas contendo relação volumétrica entre resíduo total e esgoto de 0, 5, 7 e 9%, respectivamente. Desta forma, o incremento na remoção de DQO foi de 26, 30 e 33%, para os percentuais de 5, 7 e 9%, respectivamente. O resíduo da descarga de decantadores e o lodo da clarificação do resíduo da lavagem de filtros apresentaram DQO igual a 320 e 1.400 mg/L, respectivamente. O esgoto apresentou DQO de 572 mg/L.

O incremento na remoção de DQO, devido à introdução de resíduos de ETA no esgoto, foi maior que os valores levantados na revisão bibliográfica. Para uma dosagem de resíduo de ETA da ordem de 200 mg/L, o incremento foi de 41%, contra os 10% mencionados por CORNWELL et al. (1987).

4.2.1.5 – Remoção de Fosfatos

A caracterização do sobrenadante das colunas de sedimentação também indicou, para todos os estudos efetuados, aumento de remoção de fosfatos em consequência do aumento da quantidade e concentração do resíduo da ETA introduzido no esgoto. No caso, o incremento na remoção variou entre 5 e 33%. Para o Estudo 6, no qual se efetuou clarificação dos resíduos com polímero aniônico, o incremento foi de 47%.

A presença de hidróxidos de ferro nos resíduos da ETA-AP resultou na floculação de parte da matéria orgânica do esgoto e, conseqüentemente, no aumento da remoção de fosfatos. Os fosfatos solúveis também podem ter aderido a esses precipitados. Nas Figuras 73 a 78 encontram-se ilustradas a remoção de fosfatos para os diferentes estudos.

Para o ESTUDO 1, a concentração de fosfatos no sobrenadante, no final do teste de sedimentação, foi de 26, 22, 20 e 18 mg/L, para as colunas de sedimentação preenchidas com relação volumétrica entre resíduo da descarga de decantador e esgoto igual a 0, 2, 4 e 6%, respectivamente. No caso, o incremento na remoção de fosfatos variou entre 15 e 31%. No resíduo da descarga de decantadores não foi detectada a presença de fosfatos.

FIGURA 61 - Remoção de fosfatos para o ESTUDO 1

FIGURA 62 - Remoção de fosfatos para o ESTUDO 2

FIGURA 63 - Remoção de fosfatos para o ESTUDO 3

FIGURA 64 - Remoção de fosfatos para o ESTUDO 4

FIGURA 65 - Remoção de fosfatos para o ESTUDO 5

FIGURA 66 - Remoção de fosfatos para o ESTUDO 6

Para o ESTUDO 2, a concentração de fosfatos no sobrenadante, no final do teste de sedimentação, foi de 18, 17 e 16 mg/L, para as colunas de sedimentação que receberam resíduo da descarga de decantadores com 1.000, 3.000 e 4.500 mg SST/L, respectivamente. Como o sobrenadante final da coluna controle apresentou concentração de 20 mg PO_4/L , o incremento de remoção variou entre 10 e 20%. Não foi detectada a presença de fosfatos nas diferentes composições do resíduo da descarga de decantadores.

Para o ESTUDO 3, a concentração de fosfatos no sobrenadante, no final do teste de sedimentação, foi de 39, 37, 31 e 30 mg/L, para as colunas de sedimentação preenchidas com relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto igual a 0, 1, 3 e 6%, respectivamente. No caso, o incremento na remoção de fosfatos variou entre 5 e 23%. Não foi detectada a presença de fosfatos no resíduo da lavagem de filtros.

Para o ESTUDO 4, a concentração de fosfatos no sobrenadante, no final do teste de sedimentação, foi de 17, 16, 16 e 14 mg/L, para as colunas de sedimentação preenchidas com relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto igual a 0, 3, 5 e 7%, respectivamente. No caso, o incremento na remoção de fosfatos variou entre 6 e 18%. Não foi detectada a presença de fosfatos no resíduo total da ETA.

Para o ESTUDO 5, a concentração de fosfatos no sobrenadante, no final do teste de sedimentação, foi de 14, 13 e 12 mg/L, para as colunas de sedimentação que receberam resíduo total da ETA com 900, 2.500 e 3.500 mg SST/L, respectivamente. Como o sobrenadante final da coluna controle apresentou concentração de 18 mg PO_4/L , o incremento de remoção variou entre 22 e 33%. Não foi detectada a presença de fosfatos nas diferentes composições do resíduo total da ETA.

Para o ESTUDO 6, a concentração de fosfatos no sobrenadante, no final do teste de sedimentação, foi de 17, 11, 10 e 9 mg/L, para as colunas de sedimentação preenchidas com relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto igual a 0, 5, 7 e 9%, respectivamente. No caso, o incremento na remoção de fosfatos variou entre 35 e 47%. Não foi detectada a presença de fosfatos no resíduo total da ETA.

Com relação à decantação primária do esgoto, os valores de remoção de fosfatos nas colunas controles encontram-se de acordo com os indicados na

revisão da literatura (no máximo, 2 mg PO₄/L). Exceto para o sobrenadante da coluna controle do ESTUDO 1, que apresentou remoção de 4 mg/L, os demais apresentaram remoção de fosfatos de, no máximo, 2 mg/L.

No entanto, com relação à interferência dos resíduos de ETA na remoção de fósforo, os resultados foram superiores aos mencionados na revisão bibliográfica. Para uma dosagem de resíduo de ETA de 200 mg/L, por exemplo, a remoção de fosfatos foi de 5 mg/L, sendo que CORNWELL et al. (1987) mencionaram concentrações de 2,5 mg/L.

4.2.1.6 – Remoção de nitrogênio

A caracterização do sobrenadante das colunas de sedimentação também indicou aumento de remoção de nitrogênio total em consequência do aumento da quantidade e concentração do resíduo da ETA introduzido no esgoto. No caso, o incremento médio seria em torno de 20%. Nas Figuras 79 a 84 encontram-se ilustradas a remoção de nitrogênio total kjeldahl para os diferentes estudos.

Para o ESTUDO 1, a concentração de nitrogênio no sobrenadante das colunas no final do teste de sedimentação foi de 39, 37, 31 e 30 mg NTK/L, para as relações volumétricas entre resíduos da descarga de decantadores e esgoto de 0, 2, 4 e 6%, respectivamente. No caso, a remoção de nitrogênio variou entre 5 e 23%. O resíduo da descarga de decantadores apresentou concentração de 3 mg NTK/L.

Para o ESTUDO 2, a concentração de nitrogênio no sobrenadante das colunas no final do teste de sedimentação foi de 28, 26 e 25 mg NTK/L, quando a concentração do resíduo da descarga de decantadores foi de 1.000, 3.000 e 4.500 mg SST/L, respectivamente. Como o sobrenadante da coluna controle apresentou concentração de 30 mg NTK/L, a faixa de remoção de nitrogênio variou entre 7 e 17%. Para as diferentes composições do resíduo da descarga de decantadores, não foi detectada a presença de nitrogênio.

Para o ESTUDO 3, a concentração de nitrogênio no sobrenadante das colunas no final do teste de sedimentação foi de 30, 27, 26 e 18 mg NTK/L, para relações volumétricas entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto de 0, 1, 3 e 6%, respectivamente. No caso, a remoção de nitrogênio variou entre 10 e 40%. Não foi detectada a presença de nitrogênio do resíduo da lavagem de filtros.

FIGURA 67 - Remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl para o ESTUDO 1

FIGURA 68 - Remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl para o ESTUDO 2

FIGURA 69 - Remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl para o ESTUDO 3

FIGURA 70 - Remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl para o ESTUDO 4

FIGURA 71 - Remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl para o ESTUDO 5

FIGURA 72 - Remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl para o ESTUDO 6

Para o ESTUDO 4, a concentração de nitrogênio no sobrenadante das colunas no final do teste de sedimentação foi de 29, 24, 25 e 22 mg NTK/L, para relações volumétricas entre resíduo total da ETA e esgoto de 0, 3, 5 e 7%, respectivamente. No caso, a remoção de nitrogênio variou entre 17 e 24%. Não foi detectada a presença de nitrogênio do resíduo total da ETA.

Para o ESTUDO 5, a concentração de nitrogênio no sobrenadante das colunas no final do teste de sedimentação foi de 20, 21 e 19 mg NTK/L, quando a concentração do resíduo total da ETA foi de 900, 2.500 e 3.500 mg SST/L, respectivamente. Como o sobrenadante da coluna controle apresentou concentração de 22 mg NTK/L, a faixa de remoção de nitrogênio variou entre 9 e 14%. Para as diferentes composições do resíduo da descarga de decantadores, não foi detectada a presença de nitrogênio.

Para o ESTUDO 6, a concentração de nitrogênio no sobrenadante das colunas no final do teste de sedimentação foi de 37, 32, 29 e 27 mg NTK/L, para relações volumétricas entre resíduo total da ETA e esgoto de 0, 5, 7 e 9%, respectivamente. No caso, a remoção de nitrogênio variou entre 14 e 27%. O resíduo da descarga de decantadores e o lodo da clarificação dos resíduo da lavagem de filtros apresentaram concentração de 8 e 31 mg NTK/L, respectivamente.

4.2.1.7 – Remoção de coliformes

Os resultados dos testes de sedimentação indicaram uma tendência no aumento da remoção de coliformes totais e fecais com o aumento da quantidade e concentração dos resíduos da ETA introduzidos no esgoto. Possivelmente, essa tendência foi devida ao incremento na remoção de sólidos suspensos, nos quais os coliformes poderiam estar entrelaçados.

A palavra “tendência” justifica o fato de que, em alguns casos, os resultados não terem sido conclusivos, de forma que foi necessário a repetição de exames bacteriológicos para algumas amostras. Tais repetições podem ter mascarado alguns resultados.

Uma vez que as bactérias não se distribuem individual e uniformemente no meio líquido, torna-se difícil se obter uma amostra representativa para avaliar a sedimentação das mesmas. Observando a amostra, é difícil avaliar sua representatividade para quantificação do número mais provável de coliformes. Por

exemplo, em uma matéria particulada, visualmente não interferente, poderá está aderida uma grande quantidade de coliformes.

De acordo com os resultados obtidos, o número de coliformes fecais foi, em média, 15% do valor obtido para os coliformes totais. Nas Figuras 85 a 90 encontram-se ilustradas a remoção de coliformes fecais e totais para os diferentes estudos realizados.

FIGURA 73 - Remoção de coliformes totais e fecais para o ESTUDO 1.

FIGURA 74 - Remoção de coliformes totais e fecais para o ESTUDO 2

FIGURA 75 - Remoção de coliformes totais e fecais para o ESTUDO 3

FIGURA 76 - Remoção de coliformes totais e fecais para o ESTUDO 4

FIGURA 77 - Remoção de coliformes totais e fecais para o ESTUDO 5

FIGURA 78 - Remoção de coliformes totais e fecais para o ESTUDO 6

4.2.1.8 – Fotos dos testes de sedimentação

A sequência de fotos, ilustradas nas Figuras 91 a 97, foram tiradas para o teste de sedimentação do ESTUDO 6.

FIGURA 79 – Foto do tanque de equalização de esgoto

a) Enchimento das colunas com esgoto

b) Verificação e ajuste da rotação com auxílio de tacômetro

c) Preparação dos resíduos da ETA-AP

d) Introdução dos resíduos da ETA-AP nas colunas de sedimentação

FIGURA 80 – Procedimentos preliminares para os testes de sedimentação

FIGURA 81 – Foto ilustrando a agitação durante o enchimento das colunas de sedimentação com esgoto sanitário

FIGURA 82 – Frascos contendo amostras do sobrenadante das colunas, para diferentes tempos de sedimentação

a) Tempo de sedimentação = 0 min

b) Tempo de sedimentação = 15 min

c) Tempo de sedimentação = 30 min

d) Tempo de sedimentação = 120 min

FIGURA 83 - Fotos do teste de sedimentação para diferentes tempos de sedimentação

a) Tempo de sedimentação = 15 min

b) Tempo de sedimentação = 15 min

FIGURA 84 - Fotos ilustrando a floculação do esgoto sanitário, devido à presença de resíduos da ETA-AP

a) Tempo de sedimentação = 30 min

b) Tempo de sedimentação = 120 min

FIGURA 85 – Fotos ilustrando o incremento na produção de lodo primário, devido à introdução de resíduo da ETA-AP no esgoto bruto

4.2.2 - Interferência na digestão anaeróbia de lodos

4.2.2.1 – Concentração de metais nos lodos primários bruto e inoculado

A análise de metais contidos nos lodos primários brutos e inoculados indicou que o ferro foi o elemento encontrado em maior concentração, e esta, por sua vez, aumentou em consequência do aumento da quantidade e concentração do resíduo da ETA introduzido no esgoto. Tal fato era esperado, visto que o coagulante utilizado na ETA-AP era o cloreto férrico. Nas Tabelas 23 a 28 encontram-se apresentados os valores de alguns metais presentes nos lodos primários brutos e inoculados e nos resíduos de ETA, para os diferentes estudos realizados.

As elevadas concentrações de cálcio e magnésio encontradas nos resíduos da ETA-AP deve-se, provavelmente, ao fato do canal de coleta dos mesmos receber também os resíduos da limpeza dos tanques de preparação de cal e à própria adição deste composto na correção do pH da água bruta. A concentração de metais presentes nos resíduos da descarga dos decantadores foi sempre maior que a obtida para os resíduos da lavagem dos filtros.

Essas análises também indicaram um percentual relativamente alto de alumínio nas amostras de esgoto, inóculo e até mesmo de resíduo da ETA-AP. Para o lodo primário das colunas controle, a concentração variou de 61.853 a 94.816 mg Al/kg. Para o inóculo, a concentração foi de aproximadamente 70.000 mg Al/kg. Os resíduos da descarga de decantadores apresentaram concentração entre 60.930 e 76.109 mg Al/kg, e os da lavagem de filtros entre 26.400 e 44.900 mg Al/kg.

Uma vez que o elemento alumínio não foi encontrado em concentrações elevadas nas águas do Córrego Paiol, seus elevados valores nos resíduos da ETA-AP devem-se, provavelmente, a impureza dos produtos químicos empregados na mesma. No caso do esgoto, o lançamento de resíduos da limpeza de piscinas na rede coletora local pode ter sido a fonte de contaminação.

TABELA 23 - Concentração de metais encontrados nos lodos primários bruto e inoculado, no inóculo e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 1

Amostra	Concentração do metal									
	(mg do metal / kg de sólidos totais presentes na amostra)									
	Zn	Pb	Cd	Ni	Fe	Mn	Cu	Cr	Ca	Mg
Inóculo	5.060	2.670	ND	100	75.980	391	2.239	147	11.930	2.982
Lodo primário da coluna controle	3.325	110	ND	25	30.012	325	805	58	13.678	1.431
Lodo primário da coluna com relação volumétrica entre resíduo da descarga dos decantadores e esgoto igual a 2%	2.031	90	ND	23	69.831	231	346	43	11.985	734
Lodo primário da coluna com relação volumétrica entre resíduo da descarga dos decantadores e esgoto igual a 4%	1.965	100	ND	22	97.567	345	398	56	11.765	1.280
Lodo primário da coluna com relação volumétrica entre resíduo da descarga dos decantadores e esgoto igual a 6%	1.429	98	ND	24	111.621	401	460	32	10.243	932
Resíduo da descarga de decantadores	145	ND	ND	ND	307.000	521	37	56	15.986	1.245
	(mg do metal / L da amostra)									
Lodo do frasco-reator controle contendo inóculo mais lodo primário da coluna controle	40	2	ND	0,2	397	4	12	1	132	19
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo da descarga de decantador e esgoto igual a 2%	38	2	ND	0,2	750	4	10	1	137	18
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo da descarga de decantador e esgoto igual a 4%	37	2	ND	0,2	796	4	9	1	130	17
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo da descarga de decantador e esgoto igual a 6%	31	2	ND	0,2	940	4	9	1	125	15

ND = não detectado

TABELA 24 - Concentração de metais encontrados nos lodos primários brutos e inoculados, no inóculo e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 2

Amostra	Concentração do metal									
	(mg do metal / kg de sólidos totais presentes na amostra)									
	Zn	Pb	Cd	Ni	Fe	Mn	Cu	Cr	Ca	Mg
Inóculo	5.871	294	7,1	178	110.301	473	1.352	189	10.141	2.313
Lodo primário da coluna controle	2.462	77	ND	ND	25.388	300	622	25	25.235	1.308
Lodo primário da coluna que recebeu resíduo da descarga de decantadores com 1.000 mg SST/L	2.558	69	ND	55	93.148	514	579	59	16.153	1.211
Lodo primário da coluna que recebeu resíduo da descarga de decantadores com 3.000 mg SST/L	2.015	99	ND	72	145.536	994	423	127	12.253	1.062
Lodo primário da coluna que recebeu resíduo da descarga de decantadores com 4.500 mg SST/L	1.399	77	ND	50	179.714	602	284	97	13.014	979
Resíduo da descarga de decantadores	981	ND	ND	30	298.300	630	59	115	19.300	3.912
	(mg do metal / L da amostra)									
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna controle	64	3	ND	2	1.104	5,5	15	2	206	26
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna que recebeu resíduo da descarga de decantadores com 1.000 mg SST/L	64	3	ND	2	1.413	6,5	15	2	165	26
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna que recebeu resíduo da descarga de decantadores com 3.000 mg SST/L	62	3	ND	2	1.626	9	14	2	147	25
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna que recebeu resíduo da descarga de decantadores com 4.500 mg SST/L	60	3	ND	2	1.846	7	13	2	150	25

ND = não detectado

TABELA 25 - Concentração de metais encontrados nos lodos primários brutos e inoculados, no inóculo e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 3

Amostra	Concentração do metal									
	(mg do metal / kg de sólidos totais presentes na amostra)									
	Zn	Pb	Cd	Ni	Fe	Mn	Cu	Cr	Ca	Mg
Inóculo	2.501	163	ND	92	62.665	513	471	500	142.180	5.529
Lodo primário da coluna controle	9.790	84	ND	140	66.434	1.000	2.594	336	258.741	5.944
Lodo primário da coluna com relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto igual a 1%	7.412	ND	ND	80	92.650	926	1.853	309	216.183	5.065
Lodo primário da coluna com relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto igual a 3%	5.724	ND	ND	66	131.579	987	1.230	237	26.316	3.947
Lodo primário da coluna contendo relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto igual a 6%	4.795	ND	ND	84	197.869	1.027	1.043	244	76.104	6.469
Resíduo da lavagem de filtros	190			35	250.673	502	18	69	913	741
	(mg do metal / L da amostra)									
Lodo do frasco-reator controle contendo inóculo mais lodo primário da coluna controle	68	2	ND	2	875	9	16	6	2.478	78
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto igual a 1%	57	1,5	ND	1,5	994	9	13	6	2.283	73
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto igual a 3%	48	1,5	ND	1,5	1.158	9	10	5,5	1.415	68
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto igual a 6%	45	1,5	ND	1,0	1.457	9,5	9	5,5	1.638	80

ND = não detectado

TABELA 26 - Concentração de metais encontrados nos lodos primários brutos e inoculados, no inóculo e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 4

Amostra	Concentração do metal									
	(mg do metal / kg de sólidos totais presentes na amostra)									
	Zn	Pb	Cd	Ni	Fe	Mn	Cu	Cr	Ca	Mg
Inóculo	4.560	250	ND	92	70.320	401	2.120	154	12.230	3.582
Lodo primário da coluna controle	3.145	121	ND	24	36.057	378	799	61	13.336	1.259
Lodo primário da coluna com relação volumétrica entre resíduo total da ETA-AP e esgoto igual a 3%	2.118	74	ND	23	79.031	292	388	47	12.083	759
Lodo primário da coluna com relação volumétrica entre resíduo total da ETA-AP e esgoto igual a 5%	2.669	94	ND	22	103.751	485	409	69	12.845	1.333
Lodo primário da coluna contendo relação volumétrica entre resíduo total da ETA-AP e esgoto igual a 7%	1.429	108	ND	23	115.428	466	460	23	10.243	833
Resíduo da lavagem de filtros	130	ND	ND	ND	170.000	600	30	80	10.800	890
Resíduo da descarga de decantadores	180	ND	ND	ND	267.000	670	40	80	21.500	1.370
(mg do metal / L da amostra)										
Lodo do frasco-reator controle contendo inóculo mais lodo primário da coluna controle	36	2	ND	0,3	464	4	12	1	132	19
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total da ETA-AP e esgoto igual a 3%	31	1	ND	0,3	805	4,5	9	1	137	18
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total da ETA-AP e esgoto igual a 5%	28	1	ND	0,2	848	4	7	0,8	117	16
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total da ETA-AP e esgoto igual a 7%	22	1	ND	0,2	1.000	4	7	0,5	100	13
Resíduo da lavagem de filtros	ND	ND	ND	ND	47	0,1	0,01	0,02	3	0,3
Resíduo da descarga de decantadores	0,1	ND	ND	ND	180	0,5	0,03	0,05	14,5	1

ND = não detectado

TABELA 27 - Concentração de metais encontrados nos lodos primários brutos e inoculados, no inóculo e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 5

Amostra	Concentração do metal									
	(mg do metal / kg de sólidos totais presentes na amostra)									
	Zn	Pb	Cd	Ni	Fe	Mn	Cu	Cr	Ca	Mg
Inóculo	4.180	373		158	63.218	174	1.123	221	9.763	1.919
Lodo primário da coluna controle	6.060	519		101	206.246	794	1.226	107	37.518	3.000
Lodo primário da coluna que recebeu resíduo total da ETA com 900 mg SST/L	4.774	148		87	265.512	1.176	1.128	130	33.637	2.778
Lodo primário da coluna que recebeu resíduo total da ETA com 2.500 mg SST/L	1.869	40		54	316.319	1.503	647	139	24.802	2.408
Lodo primário da coluna que recebeu resíduo total da ETA com 3.500 mg SST/L	1.590	33		43	324.718	1.299	444	99	20.212	1.822
Resíduo da descarga de decantadores	1.374			33	357.143	1.896	77	110	24.945	5.219
Resíduo da lavagem de filtros	263			40	289.298	945	30	81	17.398	1.517
	(mg do metal / L da amostra)									
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna controle	64	5,5		2	1.470	5	16	2,5	251	31
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna que recebeu resíduo total da ETA com 900 mg SST/L	62	4		2	1.885	7	16	2,5	254	31
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna que recebeu resíduo total da ETA com 2.500 mg SST/L	47	3,5		2	2.120	8,5	14	2,5	208	30
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna que recebeu resíduo total da ETA com 3.500 mg SST/L	46	3,5		2	2.247	8,5	13	2,5	193	27

ND = não detectado

TABELA 28 - Concentração de metais encontrados nos lodos primários brutos e inoculados, inóculo e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 6

Amostra	Concentração do metal									
	(mg do metal / kg de sólidos totais presentes na amostra)									
	Zn	Pb	Cd	Ni	Fe	Mn	Cu	Cr	Ca	Mg
Inóculo	2.832	168	ND	84	67.128	519	381	939	48.248	5.244
Lodo primário da coluna controle	4.158	ND	ND	55	71.053	932	1.421	300	123.158	3.316
Lodo primário da coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto igual a 5%	3.120	ND	ND	41	265.230	1.489	668	186	92.868	2.414
Lodo primário da coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto igual a 7%	2.192	ND	ND	65	283050	1.610	428	209	71.989	2.192
Lodo primário da coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto igual a 9%	2.046	ND	ND	53	309.528	1.729	544	171	64.356	2.310
Resíduo da descarga de decantadores	1.230	ND	ND	40	381.630	1.380	62	93	21.600	4.980
Lodo da clarificação do resíduo lavagem de filtros	560	ND	ND	45	290.307	1.036	45	79	1.832	1.614
	(mg do metal / L da amostra)									
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna controle	41	ND	ND	1,3	925	9	8	10	954	61
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto igual a 5%	40	ND	ND	0,8	1.805	12	7	9,5	862	59
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto igual a 7%	35	ND	ND	1	1.930	12	5	9,5	753	57
Lodo do frasco-reator contendo inóculo mais lodo primário da coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto igual a 9%	34	ND	ND	0,9	2.310	12	5,5	9	720	58

ND = não detectado

4.2.2.2 – Microscopia ótica e Microscopia eletrônica de varredura

Tanto a microscopia ótica como a eletrônica de varredura não indicaram diferença entre os tipos de bactérias presentes nas amostras de lodo primário inoculado que continham resíduo da ETA e nas que não continham esse resíduo. Além disso, a quantidade de bactérias presentes nessas amostras foi praticamente a mesma. Dentre as bactérias metanogênicas, as mais encontradas foram os bacilos hidrogenotróficos, seguidos por cocos e *methanotrix*. Na Figura 98 encontram-se ilustradas fotos dessas bactérias obtidas por microscopia ótica. Na Figura 99 encontram-se ilustrados os bacilos hidrogenotróficos obtidos por microscopia eletrônica de varredura.

No entanto, a microscopia ótica indicou que as amostras de lodo primário inoculado, que continham resíduo da ETA, apresentavam mais agregados de bactérias que as amostras de lodo sem esse resíduo. Nessas últimas, as bactérias se encontravam, de um modo geral, mais dispersas no meio. Esse comportamento foi mais evidente para o ESTUDO 4. A Figura 88 ilustra esse comportamento.

A formação de agregados bacterianos pode ser justificada pela presença de hidróxido de ferro nos lodos contendo resíduo da ETA e pelo fato dos frascos-reatores estarem submetidos à agitação contínua durante todo o experimento.

Por outro lado, como a observação no microscópio ótico de cada amostra demora, em média, duas horas, foi coletada apenas uma única amostra de cada frasco-reator, com volume de aproximadamente 0,04 mL. Isto pode ter implicado na não representatividade da amostra, de forma que o efeito dos resíduos da ETA na agregação das bactérias não seria tão significativo.

a) Bacilos metanogênicos (floreescência) b) Cocos metanogênicos (floreescência)

FIGURA 86 – Fotos dos principais gêneros de bactérias metanogênicas encontradas nos lodos dos diferentes frascos-reatores

FIGURA 87 – Microscopia eletrônica de varredura ilustrando bacilos semelhantes a hidrogenotróficos

Vale ressaltar também que no caso da microscopia eletrônica de varredura, mesmo seguindo a metodologia para preparação das amostras descrita por NATION (1983) modificada por ARAÚJO (1995), houve dificuldade de observação. A grande quantidade de impurezas contidas no lodo primário pode ter envolvido as bactérias, dificultando sua observação microscópica.

FIGURA 88 – Microscopia ótica das amostras de lodo em digestão do ESTUDO 4, indicando o possível efeito do hidróxido de ferro na formação de agregados de microrganismos.

4.2.2.3 - Produção de metano

Os resultantes dos testes de tratabilidade anaeróbia dos lodos primários indicaram que não ocorreu interferência negativa na produção de metano em consequência do aumento da quantidade e concentração de resíduo da ETA introduzido no esgoto. Nas Figuras 89 a 95 encontram-se ilustradas a produção de metano para os frascos-reatores utilizados nos diferentes estudos.

FIGURA 89 - Produção de metano para o ESTUDO 1

FIGURA 90 - Produção de metano para o ESTUDO 2

FIGURA 91 - Produção de metano para o ESTUDO 3

FIGURA 92 - Produção de metano para o ESTUDO 4

FIGURA 93 - Produção de metano para o ESTUDO 5

FIGURA 94 - Produção de metano para o ESTUDO 6

O tratamento estatístico dos valores de produção de metano dos diferentes frascos-reactores, efetuado auxílio do Microsoft ORIGIN, também não indicou efeito negativo nas taxas máxima e média de produção de metano, a medida que a concentração e quantidade do resíduo da ETA contida no lodo primário aumentaram.

Nas Tabelas 29 a 34 encontram-se apresentados os valores de taxa máxima e média de produção de metano, obtidos pelos ajustes das curvas de produção de metano às funções hiperbólica e linear.

TABELA 29 - Comparação da taxa de produção de metano para os diferentes frascos-reactores do ESTUDO 1

Tipo de lodo primário inoculado	Taxa de produção de metano (mol CH ₄ /L.h)×10 ⁻⁴			Coeficiente de correlação (r ²)
	Valor máximo		Valor médio	
	Ajuste à função hiperbólica	Ajuste à função linear	Ajuste à função hiperbólica	
Lodo da coluna controle	2,3	1	0,80	0,98 ^(a) 0,99 ^(b)
Lodo da coluna contendo relação volumétrica entre resíduo da descarga de decantadores e esgoto igual a 2%	2,6	2	0,82	0,98 ^(a) 0,99 ^(b)
Lodo da coluna contendo relação volumétrica entre resíduo da descarga de decantadores e esgoto igual a 4%	3,2	2	0,82	0,98 ^(a) 0,99 ^(b)
Lodo da coluna contendo relação volumétrica entre resíduo da descarga de decantadores e esgoto igual a 6%	3,3	2	0,85	0,99 ^(a) 0,99 ^(b)

(a) ajuste à função hiperbólica

(b) ajuste à função linear

ABELA 30 - Comparação da taxa de produção de metano para os diferentes frascos-reactores do ESTUDO 2

Tipo de lodo primário inoculado	Taxa de produção de metano (mol CH ₄ /L.h)×10 ⁻⁴			Coeficiente de correlação (r ²)
	Valor máximo		Valor médio	
	Ajuste à função hiperbólica	Ajuste à função linear	Ajuste à função hiperbólica	
Lodo da coluna controle	6,8	3	0,75	0,96 ^(a) 0,98 ^(b)
Lodo da coluna que recebeu resíduo da descarga de decantadores com 1.000 mg SST/L	6,8	3	0,74	0,95 ^(a) 0,98 ^(b)
Lodo da coluna que recebeu resíduo da descarga de decantadores com 3.000 mg SST/L	7,4	4	0,70	0,98 ^(a) 0,99 ^(b)
Lodo da coluna que recebeu resíduo da descarga de decantadores com 4.500 mg SST/L	7,4	3	0,70	0,99 ^(a) 0,99 ^(b)

(a) ajuste à função hiperbólica; (b) ajuste à função linear

(b) ajuste à função lineal

TABELA 31 - Comparação da taxa de produção de metano para os diferentes frascos-reactores do ESTUDO 3

Tipo de lodo primário inoculado	Taxa de produção de metano (mol CH ₄ /L.h)×10 ⁻⁴			Coeficiente de correlação (r ²)
	Valor máximo		Valor médio	
	Ajuste à função hiperbólica	Ajuste à função linear	Ajuste à função hiperbólica	
Lodo da coluna controle	1,6	1	0,69	0,95 ^(a) 0,99 ^(b)
Lodo da coluna contendo relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto igual a 1%	1,5	1	0,75	0,96 ^(a) 0,99 ^(b)
Lodo da coluna contendo relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto igual a 3%	2,1	1	0,77	0,95 ^(a) 0,98 ^(b)
Lodo da coluna contendo relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto igual a 6%	2,2	2	0,85	0,95 ^(a) 0,98 ^(b)

(a) ajuste à função hiperbólica; (b) ajuste à função linear

(b) ajuste à função lineal

TABELA 32 - Comparação da taxa de produção de metano para os diferentes frascos-reactores do ESTUDO 4

Tipo de lodo primário inoculado	Taxa de produção de metano (mol CH ₄ /L.h)×10 ⁻⁴			Coeficiente De Correlação (r ²)
	Valor máximo		Valor médio	
	Ajuste à função hiperbólica	Ajuste à função linear	Ajuste à função hiperbólica	
Lodo da coluna controle	3,2	2	0,87	0,98 ^(a) 0,99 ^(b)
Lodo da coluna contendo relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto de 3%	4,1	2	0,87	0,97 ^(a) 0,99 ^(b)
Lodo da coluna contendo relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto de 5%	5,1	3	0,8	0,97 ^(a) 0,98 ^(b)
Lodo da coluna contendo relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto de 7%	5,8	3	0,87	0,98 ^(a) 0,98 ^(b)

(a) ajuste à função hiperbólica; (b) ajuste à função linear

TABELA 33 - Comparação da taxa de produção de metano para os diferentes frascos-reactores do ESTUDO 5

Tipo de lodo primário inoculado	Taxa de produção de metano (mol CH ₄ /L.h)×10 ⁻⁴			Coeficiente De Correlação (r ²)
	Valor máximo		Valor médio	
	Ajuste à função hiperbólica	Ajuste à função linear	Ajuste à função hiperbólica	
Lodo da coluna controle	5,2	3	0,67	0,92 ^(a) 0,99 ^(b)
Lodo da coluna que recebeu resíduo total da ETA com 900 mg SST/L	7,2	4	0,67	0,92 ^(a) 0,99 ^(b)
Lodo da coluna que recebeu resíduo total da ETA com 2.500 mg SST/L	6,4	3	0,68	0,95 ^(a) 0,99 ^(b)
Lodo da coluna que recebeu resíduo total da ETA com 3.500 mg SST/L	5,2	3	0,69	0,97 ^(a) 0,99 ^(b)

(a) ajuste à função hiperbólica; (b) ajuste à função linear

(b) ajuste à função linear

TABELA 34 - Comparação da taxa de produção de metano para os diferentes frascos-reatores do ESTUDO 6

Tipo de lodo primário inoculado	Taxa de produção de metano (mol CH ₄ /L.h)×10 ⁻⁴			Coeficiente de correlação (r ²)
	Valor máximo		Valor médio	
	Ajuste à função hiperbólica	Ajuste à função linear	Ajuste à função hiperbólica	
Lodo da coluna controle	12	6	0,84	0,85 ^(a) 0,98 ^(b)
Lodo da coluna preenchida com 5% de resíduo da descarga de decantadores e lodo da clarificação do resíduo da lavagem de filtros	14,2	7	0,87	0,83 ^(a) 0,98 ^(b)
Lodo da coluna preenchida com 7% de resíduo da descarga de decantadores e lodo da clarificação do resíduo da lavagem de filtros	12,3	6	0,87	0,85 ^(a) 0,98 ^(b)
Lodo da coluna preenchida com 9% de resíduo da descarga de decantadores e lodo da clarificação do resíduo da lavagem de filtros	11	6	0,86	0,87 ^(a) 0,98 ^(b)

(a) ajuste à função hiperbólica

(b) ajuste à função linear

Como se pode observar parece que ocorreu um pequeno aumento na produção de metano em consequência do aumento da dosagem de resíduo da ETA aplicada no esgoto. Tal incremento pode ser devido à formação de agregados de microrganismos, resultante da presença de hidróxido de ferro no resíduo da ETA, aumentando, desta forma, o metabolismo dos mesmos. Por outro lado, o ferro pode ter estimulado o processo de digestão dos lodos, já que é um dos nutrientes essenciais ao crescimento das bactérias.

No entanto, embora esse efeito positivo seja pertinente, a pequena diferença entre os valores de taxa de produção de metano pode ser desprezível, tendo em vista que o valor estimado para o erro embutido nas medições (amostragem de gás e cromatografia, por exemplo) pode ser da ordem de 5 a 10%.

4.2.3 – Considerações sobre os efeitos no tratamento biológico da fase líquida do esgoto

Vale salientar que as unidades de tratamento biológico da fase líquida do esgoto não foram estudadas em escala de laboratório nem tampouco em escala piloto. No entanto, como um dos pressupostos do estudo foi a verificação das possíveis interferências em ETEs com decantação primária, uma caracterização complementar do sobrenadante das colunas de sedimentação, após finalização dos testes de sedimentação, serviu de subsídios para avaliar as possíveis interferências no tratamento biológico da fase líquida do esgoto.

Como visto anteriormente, a caracterização do sobrenadante das colunas de sedimentação, em termos de sólidos (totais e suspensos) indicou melhora na sua qualidade com o aumento da concentração e quantidade de resíduo da ETA introduzida no esgoto, de forma que não ocorrerá deposição de sólidos nas unidades de tratamento da fase líquida do esgoto. Na verdade, os contaminantes de maior riscos para essas unidades seriam os metais pesados.

4.2.3.1 – Metais pesados

Dentre os metais pesados presentes nos resíduos da ETA, o elemento ferro foi o único encontrado em concentrações relativamente elevadas. Tal resultado era esperado, visto que a ETA-AP utilizava cloreto férrico como coagulante primário. Os demais elementos apresentaram concentrações dentro da faixa mencionada na revisão bibliográfica.

Os resultados da análise de metais efetuada para o sobrenadante das colunas de sedimentação indicaram que não ocorreu deterioração significativa do mesmo com o aumento da quantidade e concentração do resíduo da ETA introduzido no esgoto. Além disso, os valores foram muito abaixo dos limites de toxicidade para os processos anaeróbios e aeróbios. Tal fato deve-se, principalmente, à diluição da concentração dos metais, já que a dosagem de resíduo de ETA aplicada no esgoto foi baixa. Os hidróxidos de ferro também podem ter precipitado os metais.

Nas Tabelas 35 a 40 encontram-se apresentadas as concentrações de metais contidas nos resíduos da ETA e no sobrenadante das diferentes colunas de sedimentação, após o teste de sedimentação, para os diferentes estudos realizados.

TABELA 35 - Concentração de metais encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 1

Amostra ^(a)	Concentração total de metal (mg/L)									
	Zn	Pb	Cd	Ni	Fe	Mn	Cu	Cr	Ca	Mg
0 min - 0%	0,45	ND	ND	ND	1,20	0,11	ND	ND	1,22	2,06
0 min - 2%	0,44	ND	ND	ND	6,00	0,10	ND	ND	1,70	2,50
0 min - 4%	0,43	ND	ND	ND	9,50	0,12	ND	ND	2,40	2,50
0 min - 6%	0,44	ND	ND	ND	12,5	0,13	ND	ND	3,50	2,60
60 min - 0%	0,24	ND	ND	ND	0,62	0,08	ND	ND	0,98	1,60
60 min - 2%	0,23	ND	ND	ND	0,99	0,08	ND	ND	0,91	1,46
60 min - 4%	0,20	ND	ND	ND	1,75	0,08	ND	ND	0,80	1,48
60 min - 6%	0,17	ND	ND	ND	1,32	0,08	ND	ND	0,91	1,54
120 min - 0%	0,24	ND	ND	ND	0,54	0,08	ND	ND	0,94	1,50
120 min - 2%	0,20	ND	ND	ND	0,75	0,08	ND	ND	0,90	1,55
120 min - 4%	0,20	ND	ND	ND	1,61	0,08	ND	ND	0,95	1,62
120 min - 6%	0,16	ND	ND	ND	1,21	0,08	ND	ND	0,87	1,22
Resíduo da descarga de decantadores	0,09	0,05	ND	0,03	149	0,14	0,02	0,07	3,60	0,65

(a) Tempo de sedimentação – percentual volumétrico entre resíduo da descarga de decantadores e esgoto.

ND = não detectado

TABELA 36 - Concentração de metais encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 2

Amostra ^(a)	Concentração total de metal (mg/L)									
	Zn	Pb	Cd	Ni	Fe	Mn	Cu	Cr	Ca	Mg
0 min - 0 mg/L	0,27	ND	ND	ND	0,80	0,04	0,02	ND	3,50	1,16
0 min - 1.000 mg/L	0,26	ND	ND	ND	5,90	0,06	0,03	ND	6,54	1,23
0 min - 3.000 mg/L	0,28	ND	ND	ND	18,0	0,07	0,03	ND	8,15	1,38
0 min - 4.500 mg/L	0,30	ND	ND	ND	26,0	0,09	0,03	ND	10,4	1,47
60 min - 0 mg/L	0,20	ND	ND	ND	0,55	0,05	0,02	ND	2,20	0,96
60 min - 1.000mg/L	0,14	ND	ND	ND	1,86	0,04	0,02	ND	2,35	1,03
60 min - 3.000mg/L	0,15	ND	ND	ND	2,10	0,05	0,02	ND	2,70	1,02
60 min - 4.500mg/L	0,11	ND	ND	ND	1,93	0,04	0,01	ND	2,76	0,98
120 min - 0 mg/L	0,20	ND	ND	ND	0,53	0,05	0,02	ND	1,68	0,95
120 min - 1.000 mg/L	0,15	ND	ND	ND	1,61	0,04	0,02	ND	2,20	0,98
120 min - 3.000 mg/L	0,16	ND	ND	ND	1,93	0,04	0,03	ND	2,48	0,96
120 min - 4.500 mg/L	0,13	ND	ND	ND	1,91	0,05	0,02	ND	2,44	1,00
Resíduo da descarga de decantadores	1,50 a 4,42	ND	ND	0,05 a 0,14	448 a 1.342	0,95 a 2,85	0,09 a 0,27	0,17 a 0,52	29,0 a 87,0	6,00 a 17,5

(a) Tempo de sedimentação – concentração do resíduo da descarga de decantadores introduzido no esgoto

ND = não detectado

TABELA 37 - Concentração de metais encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 3

Amostra ^(a)	Concentração total de metal (mg/L)									
	Zn	Pb	Cd	Ni	Fe	Mn	Cu	Cr	Ca	Mg
0 min - 0%	0,14	ND	ND	ND	0,92	0,05	0,05	ND	3,50	4,16
0 min - 1%	0,15	ND	ND	ND	1,70	0,05	0,07	ND	2,93	3,94
0 min - 3%	0,16	ND	ND	ND	4,25	0,08	0,04	ND	1,60	4,70
0 min - 6%	0,16	ND	ND	ND	5,70	0,06	0,04	ND	1,75	3,94
60 min - 0%	0,14	ND	ND	ND	0,82	0,05	0,06	ND	2,93	3,83
60 min - 1%	0,17	ND	ND	ND	1,32	0,05	0,06	ND	2,60	3,85
60 min - 3%	0,11	ND	ND	ND	2,03	0,04	0,06	ND	2,43	3,86
60 min - 6%	0,16	ND	ND	ND	5,70	0,06	0,04	ND	1,75	3,94
120 min - 0%	0,16	ND	ND	ND	0,88	0,04	0,06	ND	2,70	3,94
120 min - 1%	0,15	ND	ND	ND	1,21	0,05	0,06	ND	2,60	3,85
120 min - 3%	0,15	ND	ND	ND	1,40	0,04	0,06	ND	2,70	3,94
120 min - 6%	0,13	ND	ND	ND	1,62	0,04	0,06	ND	2,10	3,90
Resíduo da lavagem de filtros	0,10	ND	ND	0,02	125	0,25	0,01	0,03	0,50	0,37

(a) Tempo de sedimentação – percentual volumétrico entre resíduo da lavagem dos filtros e esgoto

ND = não detectado

TABELA 38 - Concentração de metais encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 4

Amostra ^(a)	Concentração total de metal (mg/L)									
	Zn	Pb	Cd	Ni	Fe	Mn	Cu	Cr	Ca	Mg
0 min - 0%	0,17	ND	ND	ND	2,48	0,03	0,07	0,06	1,45	1,60
0 min - 3%	0,10	ND	ND	ND	0,62	0,02	0,04	0,07	1,50	1,68
0 min - 5%	0,23	ND	ND	ND	2,85	0,04	0,04	0,07	1,54	1,43
0 min - 7%	0,27	ND	ND	ND	6,72	0,04	0,04	0,06	1,47	1,40
60 min - 0%	0,33	ND	ND	ND	0,70	0,03	0,04	ND	1,40	1,39
60 min - 3%	0,15	ND	ND	ND	0,70	0,03	0,04	ND	1,40	1,39
60 min - 5%	0,29	ND	ND	ND	1,60	0,04	0,04	ND	1,60	1,46
60 min - 7%	0,11	ND	ND	ND	1,97	0,05	0,04	ND	1,35	1,28
120 min - 0%	0,10	ND	ND	ND	0,60	0,03	0,05	ND	1,44	1,47
120 min - 3%	0,14	ND	ND	ND	1,66	0,03	0,04	ND	1,35	1,28
120 min - 5%	0,16	ND	ND	ND	2,30	0,05	0,06	ND	1,36	1,48
120 min - 7%	0,05	ND	ND	ND	0,97	0,05	0,04	ND	1,40	1,48
Resíduo da lavagem dos filtros	0,07	ND	ND	ND	47	0,16	0,01	0,02	3,00	0,25
Resíduo da descarga de decantadores	0,12	ND	ND	ND	187	0,45	0,03	0,05	14,5	0,92

(a) Tempo de sedimentação – percentual volumétrico entre resíduo total da ETA e esgoto

ND = não detectado

TABELA 39 - Concentração de metais encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 5

Amostra ^(a)	Concentração total de metal (mg/L)									
	Zn	Pb	Cd	Ni	Fe	Mn	Cu	Cr	Ca	Mg
0 min - 0mg/L	0,35	ND	ND	ND	3,30	0,17	0,05	ND	16,0	1,36
0 min - 900 mg/L	0,25	ND	ND	ND	29,0	0,25	0,02	ND	15,0	1,3
0 min - 2.500 mg/L	0,25	ND	ND	ND	41,0	0,42	0,03	ND	14,8	1,35
0 min - 3.500mg/L	0,27	ND	ND	ND	57,0	0,52	0,07	ND	20,0	1,40
60 min - 0 mg/L	0,34	ND	ND	ND	1,86	0,15	0,07	ND	10,8	1,10
60 min - 900 mg/L	0,25	ND	ND	ND	3,22	0,15	0,04	ND	12,0	1,16
60 min - 2.500 mg/L	0,12	ND	ND	ND	1,66	0,15	0,07	ND	11,8	1,17
60 min - 3.500 mg/L	0,10	ND	ND	ND	1,43	0,15	0,07	ND	11,2	1,05
120 min - 0 mg/L	0,23	ND	ND	ND	1,65	0,15	0,06	ND	11,0	1,05
120 min - 900 mg/L	0,25	ND	ND	ND	2,92	0,15	0,04	ND	11,0	1,30
120 min - 2.500 mg/L	0,13	ND	ND	ND	1,80	0,16	0,06	ND	12,5	1,63
120 min - 3.500 mg/L	0,09	ND	ND	ND	1,46	0,15	0,07	ND	11,2	1,00
Resíduo da descarga de decantadores	2,00 a 6,18	ND	ND	0,05 a 0,15	538 a 1.607	3,00 a 8,53	0,11 a 0,35	0,17 a 0,50	37,5 a 112	8,00 a 23,5
Resíduo da lavagem dos filtros	0,13	ND	ND	0,02	145	0,47	0,02	0,04	8,70	0,75

(a) Tempo de sedimentação – percentual volumétrico entre resíduo da ETA e esgoto; ND = não detectado

TABELA 40 - Concentração de metais encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e nos resíduos da ETA, para o ESTUDO 6

Amostra ^(a)	Concentração total de metal (mg/L)									
	Zn	Pb	Cd	Ni	Fe	Mn	Cu	Cr	Ca	Mg
0 min - 0%	ND	ND	ND	ND	0,40	0,11	0,03	ND	5,46	0,75
0 min - 5%	ND	ND	ND	ND	27,0	0,26	0,02	ND	7,57	0,85
0 min - 7%	ND	ND	ND	ND	40,0	0,30	0,03	ND	7,37	0,90
0 min - 9%	ND	ND	ND	ND	50,0	0,34	0,01	ND	7,90	0,93
60 min - 0%	ND	ND	ND	ND	0,41	0,11	0,03	ND	6,22	0,82
60 min - 5%	ND	ND	ND	ND	0,87	0,11	0,02	ND	5,64	0,76
60 min - 7%	ND	ND	ND	ND	0,55	0,12	0,03	ND	5,51	0,77
60 min - 9%	ND	ND	ND	ND	0,68	0,09	0,02	ND	5,60	0,76
120 min - 0%	ND	ND	ND	ND	0,40	0,11	0,03	ND	5,46	0,75
120 min - 5%	ND	ND	ND	ND	0,73	0,11	0,03	ND	4,30	0,70
120 min - 7%	ND	ND	ND	ND	0,51	0,12	0,03	ND	5,45	0,77
120 min - 9%	ND	ND	ND	ND	0,48	0,09	0,03	ND	5,50	0,78
Lodo da clarificação do resíduo da lavagem dos filtros	3,2	ND	ND	0,20	1.658	6,00	0,26	0,45	10,5	9,22
Resíduo da descarga de decantadores	3,10	ND	ND	0,1	954	3,45	0,16	0,23	54,0	12,5

(a) Tempo de sedimentação – percentual volumétrico entre resíduo da ETA e esgoto

4.2.3.2 – Alcalinidade e pH

Os resultados da caracterização do sobrenadante das colunas de sedimentação indicaram que os valores de pH foram praticamente os mesmos, independentemente da concentração e da quantidade de resíduos da ETA introduzida no esgoto. Embora esses resíduos tenham apresentado pH superior ao esgoto, a baixa relação volumétrica entre esses resultou na diluição de sua concentração hidrogeniônica.

No caso da alcalinidade total, sua concentração no sobrenadante diminuiu um pouco com o aumento da quantidade e concentração dos resíduos da ETA introduzida no esgoto. Nas Tabelas 41 a 46 encontram-se apresentados os valores de pH e alcalinidade do sobrenadante no final do teste de sedimentação, para os diferentes estudos realizados

TABELA 41 - Valores de Alcalinidade e pH encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e no resíduo da ETA, para o ESTUDO 1

Sobrenadante ^(a)	Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	pH
0 min - 0%	196	6,6
0 min - 2%	194	6,9
0 min - 4%	193	6,9
0 min - 6%	190	6,9
60 min – 0%	189	6,7
60 min – 2%	184	6,9
60 min – 4%	188	6,9
60 min – 6%	176	6,9
120 min – 0%	187	6,8
120 min – 2%	184	6,9
120 min – 4%	188	6,9
120 min – 6%	178	6,9
Resíduo da descarga de decantadores	91	7,0

(a) Tempo de sedimentação – percentual do resíduo da descarga de decantadores contido no esgoto

TABELA 42 - Valores de Alcalinidade e pH encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e no resíduo da ETA, para o ESTUDO 2

Sobrenadante ^(a)	Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	pH
0 min - 0 mg/L	118	7,2
0 min - 1.000 mg/L	118	7,2
0 min - 3.000 mg/L	118	7,2
0 min - 4.500 mg/L	118	7,2
60 min - 0 mg/L	105	7,0
60 min - 1.000 mg/L	105	7,0
60 min - 3.000 mg/L	105	7,0
60 min - 4.500 mg/L	105	7,0
120 min - 0 mg/L	105	7,0
120 min - 1.000 mg/L	105	7,0
120 min - 3.000 mg/L	105	7,0
120 min - 4.500 mg/L	105	7,0
Resíduo da descarga de decantadores com 1.000 mg SST/L	109	8,4
Resíduo da descarga de decantadores com 3.000 mg SST/L	210	8,7
Resíduo da descarga de decantadores com 4.500 mg SST/L	269	8,8

(a) Tempo de sedimentação – concentração do resíduo da descarga de decantadores introduzidos no esgoto

TABELA 43 - Valores de Alcalinidade e pH encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e no resíduo da ETA, para o ESTUDO 3

Sobrenadante ^(a)	Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	pH
0 min - 0%	133	6,9
0 min - 1%	134	7,0
0 min - 3%	133	7,0
0 min - 6%	132	7,0
60 min - 0%	132	6,9
60 min - 1%	132	6,9
60 min - 3%	129	6,9
60 min - 6%	123	6,9
120 min - 0%	131	6,9
120 min - 1%	131	6,9
120 min - 3%	126	6,9
120 min - 6%	125	7,0
Resíduo da lavagem de filtros	39	7,6

(a) Tempo de sedimentação – relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto

TABELA 44 - Valores de Alcalinidade e pH encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e no resíduo da ETA, para o ESTUDO 4

Sobrenadante ^(a)	Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	pH
0 min - 0%	145	6,9
0 min - 3%	134	7,0
0 min - 5%	140	7,0
0 min - 7%	143	7,1
60 min - 0%	140	7,0
60 min - 3%	138	7,0
60 min - 5%	137	7,0
60 min - 7%	136	7,0
120 min - 0%	141	7,0
120 min - 3%	140	7,0
120 min - 5%	139	7,0
120 min - 7%	136	7,0
Resíduo da lavagem dos filtros	26	7,2
Resíduo da descarga de decantadores	48	7,6

(a) Tempo de sedimentação – relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto

TABELA 45 - Valores de Alcalinidade e pH encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e no resíduo da ETA, para o ESTUDO 5

Sobrenadante ^(a)	Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	PH
0 min - 0mg/L	140	6,7
0 min - 1.000 e 500 mg/L	152	7,0
0 min - 3.000 e 500 mg/L	164	7,0
0 min - 4.500 e 500mg/L	172	7,1
60 min - 0 mg/L	140	6,8
60 min - 1.000 e 500 mg/L	140	6,8
60 min - 3.000 e 500 mg/L	135	6,8
60 min - 4.500 e 500 mg/L	163	7,0
120 min - 0 mg/L	146	6,8
120 min - 1.000 e 500 mg/L	140	6,8
120 min - 3.000 e 500 mg/L	135	6,8
120 min - 4.500 e 500 mg/L	135	6,9
Resíduo da descarga de decantadores com 1.000 mg SST/L	85	7,5
Resíduo da descarga de decantadores com 3.000 mg SST/L	156	7,5
Resíduo da descarga de decantadores com 4.000 mg SST/L	242	7,7
Resíduo da lavagem dos filtros	42	7,3

(a) Tempo de sedimentação – concentração do resíduo total da ETA introduzido no esgoto

TABELA 46 - Valores de Alcalinidade e pH encontrados no sobrenadante das colunas de sedimentação e no resíduo da ETA, para o ESTUDO 6

Sobrenadante ^(a)	Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	pH
0 min - 0%	146	7,4
0 min - 5%	149	7,4
0 min - 7%	153	7,4
0 min - 9%	152	7,5
60 min - 0%	144	7,4
60 min - 5%	145	7,4
60 min - 7%	146	7,4
60 min - 9%	145	7,4
120 min - 0%	144	7,4
120 min - 5%	141	7,4
120 min - 7%	139	7,4
120 min - 9%	137	7,4
Lodo da clarificação do resíduo da lavagem dos filtros	412	8,0
Resíduo da descarga de decantadores	206	8,5

(a) Tempo de sedimentação – relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto

4.2.3.3 - Cloretos

Como a ETA-AP utilizava cloreto férrico, inicialmente foi estabelecido que seria determinada a concentração de cloretos no sobrenadante das colunas no final do teste de sedimentação, a fim de verificar se não ocorreria deterioração do sobrenadante e conseqüente interferência no tratamento biológico do esgoto.

Independentemente do tempo de sedimentação, os resultados da caracterização do sobrenadante das colunas de sedimentação, em termos da concentração de cloretos, indicaram que não houve alteração desse parâmetro com o aumento da quantidade e concentração do resíduo de ETA introduzido no esgoto.

Para os ESTUDO 1, a concentração de cloretos contida no sobrenadante das colunas no final do teste de sedimentação e no resíduo da descarga de decantadores foi de 15 e 45 mg/L, respectivamente.

Para o ESTUDO 2, a concentração de cloretos contida no sobrenadante das colunas no final do teste de sedimentação e nas diferentes composições dos resíduos da descarga de decantadores foi igual a 22 e 29 mg/L, respectivamente.

Para o ESTUDO 3, a concentração de cloretos contida no sobrenadante das colunas no final do teste de sedimentação e no resíduo da lavagem de filtros foi de 33 e 20 mg/L, respectivamente.

Para o ESTUDO 4, a concentração de cloretos contida no sobrenadante das colunas no final do teste de sedimentação, nos resíduos da descarga de decantadores e nos da lavagem de filtros foi de 25, 11 e 11 mg/L, respectivamente.

Para o ESTUDO 5, a concentração de cloretos contida no sobrenadante das colunas no final do teste de sedimentação e nas diferentes composições do resíduo total da ETA-AP foi de 38 e 14 mg/L, respectivamente.

Para o ESTUDO 6, a concentração de cloretos contida no sobrenadante das colunas no final do teste de sedimentação, nos resíduos da descarga de decantadores e no lodo da clarificação dos resíduos da lavagem de filtros foi de 40, 45 e 50 mg/L, respectivamente.

Os valores de concentração de cloretos para todas as amostras de sobrenadante estiveram dentro faixa geralmente encontrada para o esgoto sanitário, que é de 30 a 100 mg/L, segundo METCALF & EDDY (1991). Uma vez que a relação volumétrica entre os resíduos da ETA e o esgoto, para todos os estudos, foi relativamente baixa, a concentração de cloretos final da mistura foi sempre próxima do valor obtido para o esgoto isento de resíduo de ETA.

4.2.4 – Considerações sobre os efeitos no tratamento físico dos lodos de ETE

4.2.4.1 – Volume de lodo primário

De acordo com os resultados dos testes de sedimentação, o volume de lodo formado nas colunas de sedimentação aumentou em consequência do aumento da quantidade e concentração do resíduo de ETA introduzido no esgoto. Nas Tabelas 47 a 52 encontram-se apresentados os valores de sólidos sedimentáveis para os diferentes estudos. A diferença entre as leituras obtidas no Cone Imhoff e as obtidas diretamente nas colunas de sedimentação deve-se principalmente ao fato do “efeito de parede” ser mais significativo nos cones.

TABELA 47 - Produção de lodo primário para o ESTUDO 1

Coluna de sedimentação	Concentração de sólidos sedimentáveis no final do teste de sedimentação (mL/L)		Incremento na produção de lodo ^(a)
	Cone Imhoff	Coluna de sedimentação	
Coluna controle	3	4	-
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo da descarga de decantadores e esgoto igual a 2%	4	5	25%
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo da descarga de decantadores e esgoto igual a 4%	6	7	75%
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo da descarga de decantadores e esgoto igual a 6%	8	9	125%

(a) baseado nos dados obtidos na coluna de sedimentação

TABELA 48 - Produção de lodo primário para o ESTUDO 2

Coluna de sedimentação	Concentração de sólidos sedimentáveis no final do teste de sedimentação (mL/L)		Incremento na produção de lodo ^(a)
	Cone Imhoff	Coluna de sedimentação	
Coluna controle	4	5	-
Coluna contendo resíduo da descarga de decantadores com 1.000 mg SST/L	6	8	60%
Coluna contendo resíduo da descarga de decantadores com 3.000 mg SST/L	15	16	220%
Coluna contendo resíduo da descarga de decantadores com 4.500 mg SST/L	18	20	300%

(a) baseado nos dados obtidos na coluna de sedimentação

TABELA 49 - Produção de lodo primário para o ESTUDO 3

Coluna de sedimentação	Concentração de sólidos sedimentáveis no final do teste de sedimentação (mL/L)		Incremento na produção de lodo ^(a)
	Cone Imhoff	Coluna de sedimentação	
Coluna controle	3,5	5	-
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto igual a 1%	4,0	6	20%
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto igual a 3%	4,5	7	40%
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto igual a 6%	5,0	8	60%

(a) baseado nos dados obtidos na coluna de sedimentação

TABELA 50 - Produção de lodo primário para o ESTUDO 4

Coluna de sedimentação	Concentração de sólidos sedimentáveis no final do teste de sedimentação (mL/L)		Incremento na produção de lodo ^(a)
	Cone Imhoff	Coluna de sedimentação	
Coluna controle	1,5	2	-
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total e esgoto igual a 3%	2,0	3	50%
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total e esgoto igual a 5%	2,0	4	110%
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total e esgoto igual a 7%	2,5	5	180%

(a) baseado nos dados obtidos na coluna de sedimentação

TABELA 51 - Produção de lodo primário para o ESTUDO 5

Coluna de sedimentação	Concentração de sólidos sedimentáveis no final do teste de sedimentação (mL/L)		Incremento na produção de lodo ^(a)
	Cone Imhoff	Coluna de sedimentação	
Coluna controle	4,5	7	-
Coluna contendo resíduo total com 900 mg SST/L	7,5	15	115%
Coluna contendo resíduo total com 2.500 mg SST/L	19	23	230%
Coluna contendo resíduo total com 3.500 mg SST/L	27	30	330%

(a) baseado nos dados obtidos na coluna de sedimentação

TABELA 52 - Produção de lodo primário para o ESTUDO 6

Coluna de sedimentação	Concentração de sólidos sedimentáveis no final do teste de sedimentação (mL/L)		Incremento na produção de lodo ^(a)
	Cone Imhoff	Coluna de sedimentação	
Coluna controle	5	7,5	-
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto igual a 5%	22	30	300%
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto igual a 7%	30	34	350%
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto igual a 9%	40	45	500%

(a) baseado nos dados obtidos na coluna de sedimentação

Para dosagem máxima de resíduo de ETA introduzido no esgoto (225 mg ST/L), por exemplo, o volume de lodo primário foi quatro vezes maior que o obtido na coluna controle. Esses resultados encontraram-se dentro da faixa de valores mencionada na revisão bibliográfica. Para o Estudo-6, no qual se utilizou lodos de clarificação contendo polímero aniônico, o volume de lodo primário foi seis vezes maior.

A presença de hidróxido de ferro nos resíduos da ETA-AP resultou no entrelaçamento ("enmeshment") das pequenas partículas presentes no esgoto,

aumentando, desta forma, a remoção de sólidos suspensos e, conseqüentemente, o volume de lodo primário. Por outro lado, esses resíduos apresentaram concentração de sólidos sedimentáveis muito superior ao esgoto, de forma que a sedimentação desses sólidos teve contribuição significativa para o aumento do volume de lodo primário.

A concentração de sólidos sedimentáveis nos resíduos da descarga de decantadores variou entre 100 e 800 mL/L, enquanto nos resíduos da lavagem de filtros entre 50 e 100 mL/L. Esse parâmetro aumentou obviamente com a concentração de sólidos suspensos totais presentes nesses resíduos. O esgoto apresentou concentração entre 2 e 7 mL/L.

Do ponto de vista operacional, esse incremento de lodo primário poderá resultar em alguns inconvenientes como: maior freqüência de limpeza dos decantadores ou sobrecarga no sistema mecanizado de coleta (tubulações e bombas).

4.2.4.2. – Concentração de sólidos totais e voláteis e densidade do lodo primário

Diferentemente do que aconteceu com o volume, a concentração de sólidos (totais e voláteis) e a densidade do lodo formado nas colunas de sedimentação diminuíram com o aumento da quantidade e concentração do resíduo de ETA introduzido no esgoto. Com relação aos sólidos totais e à densidade, a formação de flocos pouco compactos pode justificar tal comportamento. Já as partículas inertes presentes no resíduo da ETA contribuíram para a redução de sólidos voláteis no lodo primário.

Nas Tabelas 53 a 58 encontram-se apresentados os valores de concentração de sólidos totais e voláteis e de densidade dos lodos primários obtidos nos diferentes estudos.

TABELA 53 - Concentração de sólidos e densidade do lodo primário no final do teste de sedimentação, para o ESTUDO 1

Lodo primário	Concentração de sólidos (mg/L)		Densidade (kg/m ³)
	Totais	Voláteis	
Coluna controle	23.560	19.250	1.034
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo da descarga de decantadores e esgoto igual a 2%	18.940	14.090	1.027
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo da descarga de decantadores e esgoto igual a 4%	17.320	13.100	1.025
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo da descarga de decantadores e esgoto igual a 6%	16.320	10.600	1.023

TABELA 54 - Concentração de sólidos e densidade do lodo primário no final do teste de sedimentação, para o ESTUDO 2

Lodo primário	Concentração de sólidos (mg/L)		Densidade (kg/m ³)
	Totais	Voláteis	
Coluna controle	22.782	17.000	1.064
Coluna que recebeu resíduo da descarga de decantadores com 1.000 mg SST/L	33.828	18.896	1.050
Coluna que recebeu resíduo da descarga de decantadores com 3.000 mg SST/L	27.914	13.100	1.041
Coluna que recebeu resíduo da descarga de decantadores com 4.500 mg SST/L	24.572	10.150	1.036

TABELA 55 - Concentração de sólidos e densidade do lodo primário no final do teste de sedimentação, para o ESTUDO 3

Lodo primário	Concentração de sólidos (mg/L)		Densidade (kg/m ³)
	Totais	Voláteis	
Coluna controle	23.103	19.200	1.033
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto igual a 1%	23.590	19.163	1.034
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto igual a 3%	17.755	13.795	1.025
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo da lavagem de filtros e esgoto igual a 6%	13.550	9.690	1.019

TABELA 56 - Concentração de sólidos e densidade do lodo primário no final do teste de sedimentação, para o ESTUDO 4

Lodo primário	Concentração de sólidos (mg/L)		Densidade (kg/m ³)
	Totais	Voláteis	
Coluna controle	17.740	13.940	1.025
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total e esgoto igual a 3%	15.870	12.630	1.023
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total e esgoto igual a 5%	11.180	7.390	1.016
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total e esgoto igual a 7%	10.280	7.670	1.015

TABELA 57 - Concentração de sólidos e densidade do lodo primário no final do teste de sedimentação, para o ESTUDO 5

Lodo primário	Concentração de sólidos (mg/L)		Densidade (kg/m ³)
	Totais	Voláteis	
Coluna controle	31.225	22.735	1.046
Coluna contendo resíduo total da ETA com 900 mg SST/L	16.090	9.838	1.023
Coluna contendo resíduo total da ETA com 2.500 mg SST/L	14.292	7.200	1.020
Coluna contendo resíduo total da ETA com 3.500 mg SST/L	14.080	6.262	1.020

TABELA 58 - Concentração de sólidos e densidade do lodo primário no final do teste de sedimentação, para o ESTUDO 6

Lodo primário	Concentração de sólidos (mg/L)		Densidade (kg/m ³)
	Totais	Voláteis	
Coluna controle	21.914	17.566	1.032
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto igual a 5%	13.960	8.306	1.020
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto igual a 7%	13.358	7.078	1.019
Coluna preenchida com relação volumétrica entre resíduo total da ETA e esgoto igual a 9%	12.378	6.224	1.018

Para todos os estudos, comparando a coluna controle com a que recebeu maior dosagem de resíduo de ETA, pode-se observar que a redução na concentração de sólidos totais foi, em média, 40%. Este valor encontra-se de acordo com os observados na revisão bibliográfica.

No entanto, mesmo assim, a carga de sólidos nas unidades de tratamento do lodo da ETE poderá dobrar caso a dosagem de resíduo de ETA no esgoto seja de 225 mg ST/L. No caso de se efetuar a clarificação dos resíduos de lavagem

dos filtros nas condições estudadas aqui, a carga de sólidos poderá até quadruplicar. Isto poderia resultar em sobrecarga nos processos de adensamento, digestão e desaguamento, além de aumentar a quantidade de torta na ETE.

4.2.4.3 – Sedimentabilidade do lodo primário

Com relação a sedimentabilidade do lodo primário, ou seja, ao seu grau de adensamento, não se efetuou nesta pesquisa um estudo mais específico, visto que esse material era imediatamente armazenado na geladeira para não entrar em decomposição. Desta forma, poder-se-ia pensar que os resíduos de ETA interferem negativamente na sedimentabilidade do lodo primário, visto que o volume de lodo aumentou e a concentração de sólidos diminuiu.

No entanto, de acordo com os levantamentos efetuados na revisão bibliográfica, embora se forme um maior volume de lodo primário com menor concentração de sólidos, sua sedimentabilidade tende a melhorar quando o esgoto é misturado com resíduo de ETA, de forma que para um tempo de observação maior o volume diminuirá e a concentração aumentará. Vale salientar que, nos processos de Lodos Ativados, utiliza-se cloreto férrico para melhorar a sedimentabilidade do lodo.

4.2.4.4 – Resistência específica e Viscosidade dos lodos primários e digeridos

Os resultados dos testes de resistência específica com os lodos primários e digeridos indicaram que esse parâmetro diminuiu com o aumento da quantidade e da concentração dos resíduos da ETA introduzida no esgoto. Tal comportamento deve-se principalmente à diminuição da viscosidade desses lodos com a dosagem de resíduo de ETA aplicada no esgoto.

A atenuação do efeito de colmatção na superfície filtrante, resultante do aumento do diâmetro das pequenas partículas, devido ao entrelaçamento das mesmas aos hidróxidos de ferro, e a diminuição da concentração de sólidos voláteis e totais, em consequência do aumento da dosagem de resíduo de ETA aplicada no esgoto, também podem ter contribuído para a diminuição da resistência específica dos lodos. Nas Tabelas 59 a 64 encontram-se apresentados os valores de resistência específica e viscosidade para os lodos primários e digeridos obtidos nos diferentes estudos.

TABELA 59 - Resultados de resistência específica e viscosidade para os lodos primários e digeridos do ESTUDO 1

Amostra	Resistência específica ($\times 10^{13}$ m/kg)		Viscosidade (mPas)	
	Lodo primário	Lodo digerido	Lodo primário	Lodo digerido
Coluna controle (sem resíduo da descarga de decantadores)	28,7	6,4	2,0	2,1
Coluna contendo relação volumétrica entre os resíduo da descarga de decantadores e esgoto igual 2%	4,3	5,1	1,5	1,7
Coluna contendo relação volumétrica entre os resíduo da descarga de decantadores e esgoto igual 4%	1,8	2,3	1,4	1,6
Coluna contendo relação volumétrica entre os resíduo da descarga de decantadores e esgoto igual 6%	1,5	2,1	1,2	1,4

TABELA 60 - Resultados de resistência específica e viscosidade para os lodos primários e digeridos do ESTUDO 2

Amostra	Resistência específica ($\times 10^{13}$ m/kg)		Viscosidade (mPas)	
	Lodo primário	Lodo digerido	Lodo primário	Lodo digerido
Coluna controle (sem resíduo da descarga de decantadores)	32,9	6,6	2,6	2,4
Coluna que recebeu resíduo da descarga de decantadores com 1.000 mg SST/L	5,2	5,6	2,4	2,1
Coluna que recebeu resíduo da descarga de decantadores com 3.000 mg SST/L	2,1	3,3	1,8	2,1
Coluna que recebeu resíduo da descarga de decantadores com 4.500 mg SST/L	1,1	2,3	1,6	2,1

TABELA 61 - Resultados de resistência específica e viscosidade para os lodos primários e digeridos do ESTUDO 3

Amostra	Resistência específica ($\times 10^{13}$ m/kg)		Viscosidade (mPas)	
	Lodo primário	Lodo digerido	Lodo primário	Lodo digerido
Coluna controle (sem resíduo da lavagem de filtros)	29,6	7	2,4	2,4
Coluna contendo relação volumétrica entre os resíduo da lavagem de filtros e esgoto igual 1%	15	4	2,2	2,4
Coluna contendo relação volumétrica entre os resíduo da lavagem de filtros e esgoto igual 3%	10	3,6	2,1	2,3
Coluna contendo relação volumétrica entre os resíduo da lavagem de filtros e esgoto igual 6%	6,1	3,2	1,8	2,2

TABELA 62 - Resultados de resistência específica e viscosidade para os lodos primários e digeridos do ESTUDO 4

Amostra	Resistência específica ($\times 10^{13}$ m/kg)		Viscosidade (mPas)	
	Lodo primário	Lodo digerido	Lodo primário	Lodo digerido
Coluna controle (sem resíduo total da ETA)	35,4	15,7	2,0	2,1
Coluna contendo relação volumétrica entre os resíduo total da ETA e esgoto igual 3%	5,6	6,7	1,72	1,9
Coluna contendo relação volumétrica entre os resíduo total da ETA e esgoto igual 5%	2,5	3,8	1,63	1,83
Coluna contendo relação volumétrica entre os resíduo total da ETA e esgoto igual 7%	1,8	2,7	1,5	1,81

TABELA 63 - Resultados de resistência específica e viscosidade para os lodos primários e digeridos do ESTUDO 5

Amostra	Resistência específica ($\times 10^{13}$ m/kg)		Viscosidade (mPas)	
	Lodo primário	Lodo digerido	Lodo primário	Lodo digerido
Coluna controle	16,8	4,2	3,8	4,1
Coluna contendo resíduo total da ETA com 900 mg SST/L	2,1	2,9	1,6	2,6
Coluna contendo resíduo total da ETA com 2.500 mg SST/L	1,9	2,5	1,7	2,5
Coluna contendo resíduo total da ETA com 3.500 mg SST/L	1,6	2,1	1,7	2,5

TABELA 64 - Resultados de resistência específica e viscosidade para os lodos primários e digeridos para o ESTUDO 6

Amostra	Resistência específica ($\times 10^{13}$ m/kg)		Viscosidade (mPas)	
	Lodo primário	Lodo digerido	Lodo primário	Lodo digerido
Coluna controle (sem resíduo total da ETA)	42,1	9,3	2,1	2,3
Coluna contendo relação volumétrica entre os resíduo total da ETA e esgoto igual 5%	1,6	7,5	1,5	2,1
Coluna contendo relação volumétrica entre os resíduo total da ETA e esgoto igual 7%	1,3	4,8	1,4	2,0
Coluna contendo relação volumétrica entre os resíduo total da ETA e esgoto igual 9%	0,5	2,6	1,1	2,0

De acordo com a classificação da AWWA, todas as amostras dos lodos analisados seriam de “difícil desaguamento”. Comparando esses valores com os mencionados na revisão bibliográfica para os lodos de ETAs, pode-se observar

que os lodos de ETE apresentam resistência específica maior que os lodos de ETA.

Os valores de resistência específica foram maiores para os lodos digeridos, porque o inóculo sempre apresentou resistência específica relativamente mais alta que as amostras de lodo primário. No caso, o menor valor de resistência específica obtido para o inóculo foi $11,3 \times 10^{14}$ m/kg.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- O lançamento de resíduos de estações de tratamento de água (ETA), que utilizam cloreto férrico como coagulante primário, nas estações de tratamento de esgoto (ETE) com decantação primária, via rede coletora de esgoto ou transporte por caminhões, em dosagens de até 225 mg ST/L, possivelmente não causarão efeitos prejudiciais no desempenho das ETEs.
- No entanto, vale salientar que os resultados obtidos neste estudo não devem ser generalizados, visto que as ETAs produzem resíduos com características muito particulares. Na verdade, o sucesso desse tipo de disposição irá depender das características do resíduo da ETA e da tecnologia de tratamento utilizada na ETE.
- Possivelmente ocorrerá aumento da eficiência da decantação primária, já que a presença de hidróxidos de ferro nos resíduos da ETA resultou na floculação do esgoto. Tal fenômeno deve-se principalmente ao entrelaçamento ("entrapment") das partículas presentes no esgoto a esses precipitados.
- Embora o volume de lodo primário possa aumentar significativamente com a dosagem de resíduo de ETA aplicada no esgoto, as sobrecargas de volume e de sólidos nas unidades envolvidas no tratamento do lodo poderão ser atenuadas, visto que a concentração de sólidos diminui e a sedimentabilidade do lodo aumenta. Além disso, os testes de resistência específica e viscosidade, efetuados para o lodo primário bruto e inoculado, indicaram o grau de desaguamento dos mesmos aumentaria em consequência do aumento da dosagem de resíduo da ETA introduzida no esgoto.
- A principal recomendação desta pesquisa seria a verificação dos efeitos no adensamento do lodo.
- Possivelmente não ocorrerá sobrecarga hidráulica nas unidades de tratamento da fase líquida do esgoto, já que o percentual volumétrico entre os resíduo de

ETA e esgoto apresenta valores relativamente pequenos. Para a ETA estudada, o incremento de vazão seria, no máximo, 6%.

- Por outro lado, esses parâmetros não são suficientes para avaliar os efeitos no tratamento físico do lodo gerado na ETE, de forma que estudos mais específicos, em escala piloto, deverão ser realizados para que possa chegar a conclusões mais concretas. Por exemplo, a verificação da eficiência de centrífugas e filtros-prensa, quando submetidos à lodos contendo resíduo de ETAs.
- Vale salientar que, como a concentração de sólidos sedimentáveis presentes nos resíduos da ETA é muito superior à obtida para o esgoto, a carga de sólidos presente nesses também contribui para o aumento do volume de lodo primário.
- Ainda com relação à decantação primária, o método de disposição proposto também pode resultar no aumento de remoção de DQO, nitrogênio, fósforo e coliformes totais e fecais, em consequência do aumento da dosagem de resíduos de ETA aplicada no esgoto.
- Embora a remoção de fósforo e nitrogênio na decantação primária possa aumentar, o sobrenadante, provavelmente, ainda necessitará de tratamento complementar; no entanto, com custos reduzidos.
- Possivelmente não ocorrerá inibição no processo de digestão de lodos, já que os resultados dos testes de tratabilidade anaeróbia não indicaram efeito negativo na taxa de produção de metano com o aumento da dosagem de resíduo de ETA presente no lodo primário em digestão. Recomenda-se verificar os efeitos na digestão aeróbia.
- Recomenda-se estudar os efeitos dos precipitados de ferro na remoção de sulfetos, e estudos sobre as interferências na disposição final da fase sólida do esgoto (torta), bem como o efeito de abrasão nos equipamentos de desaguamento.
- De acordo com a caracterização do sobrenadante das colunas no final do teste de sedimentação, provavelmente não ocorrerão interferências negativas no processo biológico utilizado no tratamento da fase líquida do esgoto.
- Recomenda-se, no entanto, que outros estudos sejam desenvolvidos para avaliar as interferências nos processos biológicos de tratamento de esgoto

bruto (sem decantação prévia), abordando, por exemplo, o lançamento direto dos resíduos em reatores UASB e lagoas de estabilização, entre outros.

- Com relação à disposição do efluente final da ETE, possivelmente não ocorrerá deterioração dos mesmos com lançamento dos resíduos de ETA na ETE, já que a qualidade do sobrenadante dos decantadores primários não será deteriorada e que não ocorrerá interferências no desempenho dos processos biológicos de tratamento do esgoto.
- Os resíduos da ETA provavelmente só poderão ser lançados em uma rede coletora de esgoto provida de tratamento, após sua equalização prévia, visto que a maior parte dos sólidos contidos nos decantadores e filtros é eliminada na forma de pulsos. Estudos posteriores deverão ser desenvolvidos para avaliar os riscos de entupimento no sistema de coleta de esgoto, visto que os parâmetros de projeto das mesmas (tensão trativa, por exemplo) são estabelecidos para a carga de sólidos presente no esgoto.
- Dentre os resíduos gerados na ETA-AP, os provenientes da descarga de fundo dos decantadores são os mais problemáticos para o método de disposição proposto, por apresentarem a maior carga de sólidos. Recomenda-se também a realização de estudos de clarificação para verificar a possibilidade da recirculação da fase líquida desses resíduos.
- Para minimizar o volume de resíduos gerados nas ETAs, sugere-se a otimização do processo de coagulação. O uso de polímeros orgânicos como coagulante primário também necessita ser mais explorado, principalmente no que tange o gerenciamento dos resíduos da ETA.
- Como os dois coagulantes primários mais utilizados para o tratamento de água no nosso país são o cloreto férrico e o sulfato de alumínio, recomenda-se o desenvolvimento de pesquisa similar com resíduos gerados em ETAs que utilizam este último.
- Com relação à quantidade de resíduo da ETA introduzida na ETE, possivelmente não ocorrerá sobrecarga hidráulica nas unidades de tratamento da fase líquida do esgoto, visto que o percentual volumétrico desses resíduos no esgoto é de, no máximo, 7%.

ANEXO A

TABELA A1 – Valores de turbidez para a água bruta da ETA-AP

Mês/Ano	Turbidez (UT)		Mês/Ano	Turbidez (UT)	
	Mínima	Máxima		Mínima	Máxima
Jan./95	18	1.000	Jan./97	17	280
Fev./95	18	270	Fev./97	14	362
Mar./95	17	480	Mar./97	11	80
Abr./95	16	60	Abr./97	10	60
Maio/95	11	180	Maio/97	10	133
Jun./95	10	67	Jun./97	16	680
Jul./95	12	120	Jul./97	15	54
Ago./95	14	70	Ago./97	15	54
Set./95	17	130	Set./97	20	73
Out./95	17	800	Out./97	25	555
Nov./95	18	200	Nov./97	27	1.344
Dez./95	18	480	Dez./97	27	676
Jan./96	18	600	Jan./98	18	365
Fev./96	19	420	Fev./98	26	685
Mar./96	22	550	Mar./98	15	1.400
Abr./96	15	50	Abr./98	13	410
Maio/96	14	74	Maio/98	12	224
Jun./96	13	34	Jun./98	8	348
Jul./96	12	25	Jul./98	8	94
Ago./96	13	100	Ago./98	11	229
Set./96	18	230	Set./98	14	114
Out./96	19	125	Out./98	13	486
Nov./96	18	350	Nov./98	12	55
Dez./96	12	817	Dez./98	14	316

Fonte: Adaptado dos Relatórios mensais do DAE-Araraquara (SP)

TABELA A2 – Consumo de produtos químicos em função da turbidez máxima da água bruta que alimenta a ETA-AP

Mês/Ano	Turbidez máxima (UT)	FeCl ₃ (kg/mês)	Cal (kg/mês)	Mês/Ano	Turbidez máxima (UT)	FeCl ₃ (kg/mês)	Cal (kg/mês)
Jan./95	1.000	2.989	3.540	Jan./97	280	6.076	2.680
Fev./95	270	3.328	4.580	Fev./97	362	5.414	2.880
Mar./95	480	3.300	4.760	Mar./97	80	6.365	3.480
Abr./95	60	1.771	2.760	Abr./97	60	4.001	2.440
Mai./95	180	1.495	2.540	Mai./97	133	5.886	3.160
Jun./95	67	1.547	2.680	Jun./97	680	5.399	2.980
Jul./95	120	1.820	3.260	Jul./97	54	5.287	3.280
Ago./95	70	2.342	3.340	Ago./97	54	5.371	3.200
Set./95	130	2.678	3.620	Set./97	73	5.935	3.480
Out./95	800	3.091	4.320	Out./97	555	6.829	4.240
Nov./95	200	2.658	4.260	Nov./97	1.344	9.446	4.920
Dez./95	480	8.531	4.640	Dez./97	676	9.812	4.460
Jan./96	600	7.378	3.920	Jan./98	365	7.487	3.300
Fev./96	420	6.800	3.920	Fev./98	685	5.727	3.020
Mar./96	550	6.184	3.840	Mar./98	1.400	5.969	2.760
Abr./96	50	5.097	3.520	Abr./98	410	4.681	3.140
Mai./96	74	4.800	3.160	Mai./98	224	5.119	2.980
Jun./96	34	4.258	2.540	Jun./98	348	4.257	2.620
Jul./96	25	4.148	2.760	Jul./98	94	5.265	2.440
Ago./96	100	4.974	3.200	Ago./98	229	6.225	3.200
Set./96	230	6.642	3.440	Set./98	114	6.365	2.920
Out./96	125	6.865	4.040	Out./98	486	7.331	3.400
Nov./96	350	7.227	4.240	Nov./98	55	5.022	3.020
Dez./96	817	7.710	3.920	Dez./98	316	9.769	4.720

Fonte: Adaptado dos Relatórios mensais do DAE-Araraquara (SP)

TABELA A3 – Concentração de sólidos suspensos totais e turbidez presentes no resíduo durante a descarga dos decantadores da ETA-AP, para diferentes tempos de descarga e concentração do resíduo

Tempo (s)	Duração de lavagem e concentração mínimas		Duração de lavagem e concentração médias		Duração de lavagem e concentração máximas	
	Turbidez (UT)	SST (mg/L)	Turbidez (UT)	SST (mg/L)	Turbidez (UT)	SST (mg/L)
15	36	81	774	1.471	3.420	3.975
30	897	1.480	2.980	4.400	9.300	9.460
60	349	577	2.370	3.850	10.200	12.080
90	242	477	905	1.100	7.570	9.033
120	157	240	176	272	4.650	5.400
150	94	143	101	165	2.685	3.713
170	60	107	132	193	3.010	3.486
210	99	102	94	150	2.775	3.400
240	-	-	131	210	2.845	3.350
270	-	-	145	168	2.515	3.186
300	-	-	135	159	1.675	2.357
330	-	-	217	150	1.055	1.322
360	-	-	-	-	470	600

ANEXO B

TABELA B1 – Resultado do teste de sedimentação para o ESTUDO 1, em termos de remoção de sólidos suspensos totais

Tempo (min)	SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (mg/L)											
	Percentual de resíduo da descarga dos decantadores da ETA contido no esgoto sanitário											
	0%			2%			4%			6%		
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃
0	281	281	281	300	300	300	321	321	321	340	340	340
15	142	168	220	137	129	180	123	154	212	98	134	144
30	124	127	135	97	97	97	113	117	110	85	88	106
45	123	126	121	94	97	103	109	109	94	83	86	82
60	121	119	121	86	81	94	100	95	101	81	83	89
75	120	113	123	91	97	91	100	100	103	79	92	97
90	110	113	103	97	89	91	89	97	103	83	89	75
105	109	115	103	94	92	97	83	94	100	70	86	95
120	112	113	106	88	90	90	87	89	88	83	83	75

TABELA B2 – Resultado do teste de sedimentação para o ESTUDO 1, em termos de remoção de turbidez

Tempo (min)	TURBIDEZ (UT)											
	Percentual de resíduo da descarga dos decantadores da ETA contido no esgoto sanitário											
	0%			2%			4%			6%		
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃
0	248	248	248	254	254	254	261	261	261	283	283	283
15	183	191	203	153	148	201	146	164	201	122	151	198
30	167	166	172	129	126	135	127	128	135	109	107	113
45	165	161	167	122	125	126	126	125	126	104	107	107
60	156	161	160	126	124	125	121	123	125	102	106	103
75	150	156	156	121	121	121	123	121	121	101	105	105
90	147	152	155	120	121	122	119	123	122	102	104	102
105	146	152	153	117	118	119	115	119	119	99	102	102
120	146	148	151	114	119	118	112	116	118	99	102	101

TABELA B3 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 2, em termos de remoção de sólidos suspensos totais.

Tempo (min)	SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (mg/L)											
	Concentração de sólidos suspensos totais presentes no resíduo da descarga de decantadores da ETA											
	0			1.000			3.000			4.500		
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃
0	179	179	179	258	258	258	367	367	367	371	371	371
15	150	143	177	171	147	333	154	193	204	192	221	383
30	145	155	175	128	132	144	100	112	121	126	100	104
45	161	132	150	127	130	190	129	104	107	114	114	112
60	143	133	130	124	112	132	94	134	109	98	108	88
75	142	136	133	118	116	123	104	100	102	102	108	108
90	126	127	134	116	116	126	110	94	102	108	92	98
105	135	126	136	116	110	122	112	104	102	100	104	88
120	118	114	126	98	98	112	96	77	102	100	98	102

TABELA B4 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 2, em termos de remoção de turbidez

Tempo (min)	TURBIDEZ (UT)											
	Concentração de sólidos suspensos totais presentes no resíduo da descarga de decantadores da ETA											
	0			1.000			3.000			4.500		
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃
0	225	225	225	249	249	249	306	306	306	352	352	352
15	223	221	241	195	193	258	185	187	297	164	236	370
30	195	203	210	160	160	161	149	141	150	128	134	129
45	188	188	190	148	148	200	140	135	134	132	124	118
60	182	177	188	145	138	146	136	135	134	122	123	125
75	170	171	175	140	134	156	131	129	132	119	119	119
90	166	161	174	138	137	154	129	130	129	119	118	118
105	163	162	165	128	136	137	123	126	128	113	119	118
120	156	151	158	126	121	134	128	124	126	115	117	116

TABELA B5 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 3, em termos de remoção de sólidos suspensos totais

Tempo (min)	SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (mg/L)											
	Percentual de resíduo da lavagem de filtros da ETA contido no esgoto sanitário											
	0%			1%			3%			6%		
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃
0	150	150	150	183	183	183	193	193	193	200	200	200
15	147	148	148	156	159	158	150	154	151	140	140	145
30	143	143	145	132	135	135	120	118	119	95	95	108
45	139	140	141	127	127	128	117	115	116	85	90	98
60	128	130	130	120	118	120	112	108	113	90	98	93
75	127	128	128	118	117	118	104	100	100	90	90	90
90	122	128	127	118	118	123	100	93	105	95	88	95
105	115	116	117	110	115	119	100	100	101	85	88	88
120	110	113	113	100	113	120	98	98	97	85	88	85

TABELA B6 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 3, em termos de remoção de turbidez

Tempo (min)	TURBIDEZ (UT)											
	Percentual de resíduo da lavagem de filtros da ETA contido no esgoto sanitário											
	0%			1%			3%			6%		
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃
0	220	220	220	234	234	234	235	235	235	237	237	237
15	187	201	196	195	200	193	174	185	196	145	151	155
30	177	189	186	181	178	179	162	161	167	126	132	136
45	174	177	186	170	170	176	152	153	154	123	124	126
60	171	177	175	163	163	165	149	152	151	120	125	123
75	170	171	171	156	168	170	139	145	145	121	121	119
90	176	167	175	164	169	167	141	144	150	120	119	118
105	165	168	170	160	163	166	140	139	143	119	119	119
120	163	171	164	158	163	164	137	140	141	116	117	114

TABELA B7 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 4, em termos de remoção de sólidos suspensos totais

Tempo (min)	SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (mg/L)											
	Percentual de resíduo total da ETA contido no esgoto sanitário											
	0%			3%			5%			7%		
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃
0	132	132	132	135	135	135	150	150	150	155	155	155
15	118	118	121	117	138	129	118	123	134	100	144	137
30	114	110	112	90	97	113	94	119	124	97	103	100
45	100	113	110	93	95	95	105	111	105	100	90	100
60	114	108	108	80	86	83	93	103	103	83	90	84
75	99	124	109	82	79	75	88	91	92	80	83	79
90	98	98	102	81	85	79	93	95	97	78	82	86
105	105	98	85	86	81	82	96	81	88	84	74	71
120	100	101	95	76	76	80	82	87	97	64	86	70

TABELA B8 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 4, em termos de remoção de turbidez

Tempo (min)	TURBIDEZ (UT)											
	Percentual de resíduo total da ETA contido no esgoto sanitário											
	0%			3%			5%			7%		
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃
0	133	133	133	148	148	148	157	157	157	162	162	162
15	126	122	132	125	131	128	128	138	150	132	141	134
30	122	119	123	102	109	114	120	126	120	100	111	105
45	115	117	122	96	99	95	116	113	112	92	100	97
60	113	110	113	96	91	96	105	105	110	94	90	95
75	107	107	107	90	92	92	95	103	102	90	91	92
90	102	105	107	89	88	89	98	98	99	84	86	87
105	102	104	104	88	86	90	98	94	95	81	86	86
120	102	104	104	87	84	86	94	96	94	81	84	85

TABELA B9 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 5, em termos de remoção de sólidos suspensos totais

Tempo (min)	SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (mg/L)											
	Concentração de sólidos suspensos totais presentes no resíduo total da											
	ETA											
	0			900			2.500			3.500		
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃
0	260	260	260	305	305	305	350	350	350	446	446	446
15	188	230	238	184	248	248	127	276	341	127	417	379
30	149	163	180	147	146	147	108	121	122	102	120	128
45	153	161	164	127	129	131	98	95	102	87	90	96
60	152	190	148	140	135	135	93	93	95	97	88	110
75	133	164	152	132	132	138	88	83	85	83	87	88
90	142	156	157	118	122	151	85	89	85	88	93	95
105	144	140	138	133	122	135	85	91	86	82	77	81
120	132	134	146	120	115	121	89	83	88	78	80	73

TABELA B10 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 5, em termos de remoção de turbidez

Tempo (min)	TURBIDEZ (UT)											
	Concentração de sólidos suspensos totais presentes no resíduo total da											
	ETA											
	0			900			2.500			3.500		
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃
0	167	167	167	176	176	176	213	213	213	239	239	239
15	142	147	147	116	134	152	85	149	207	85	240	238
30	131	134	134	105	103	103	76	82	86	76	83	78
45	121	124	125	97	96	95	73	71	75	73	68	69
60	122	121	121	94	95	95	70	71	73	67	67	70
75	115	121	121	91	92	96	69	70	73	66	65	66
90	118	119	118	91	93	90	70	69	72	65	65	66
105	118	119	121	90	90	91	68	72	69	64	64	66
120	109	109	113	87	89	91	68	69	69	64	66	66

TABELA B11 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 6, em termos de remoção de sólidos suspensos totais

Tempo (min)	SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (mg/L)											
	Percentual de resíduo total da ETA contido no esgoto sanitário											
	0%			5%			7%			9%		
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃
0	220	220	220	300	300	300	370	370	370	390	390	390
15	159	169	168	110	250	280	85	250	300	90	300	350
30	133	143	153	70	72	70	66	64	80	74	66	104
45	120	130	133	66	69	68	55	65	67	70	72	74
60	116	120	118	60	68	62	50	62	46	46	64	58
75	119	121	120	68	69	68	49	64	45	47	67	60
90	120	125	120	70	69	72	50	56	46	48	68	58
105	115	120	116	64	65	64	51	60	60	47	58	52
120	110	123	95	64	62	63	52	66	54	48	52	50

TABELA B12 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 6, em termos de remoção de turbidez

Tempo (min)	TURBIDEZ (UT)											
	Percentual de resíduo total da ETA contido no esgoto sanitário											
	0%			5%			7%			9%		
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁	P ₂	P ₃
0	238	238	238	283	283	283	300	300	300	317	317	317
15	178	188	188	86	208	270	76	270	287	83	319	328
30	157	154	154	75	77	67	66	66	73	68	70	94
45	144	155	147	75	72	74	65	65	63	64	65	66
60	135	139	136	71	72	69	61	63	62	60	62	61
75	140	139	130	68	70	70	62	66	64	60	63	62
90	130	136	138	73	70	69	62	64	61	60	60	60
105	133	137	138	71	69	69	62	66	62	62	62	62
120	123	130	128	70	70	68	59	60	60	62	61	63

TABELA B13 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 1, em termos de remoção de DQO

Tempo (min)	DQO (mg/L)			
	Percentual de resíduo da descarga de decantadores contido no esgoto sanitário			
	0%	2%	4%	6%
0	739	729	719	709
60	448	382	388	367
120	413	380	370	350

TABELA B14 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 2, em termos de remoção de DQO

Tempo (min)	DQO (mg/L)			
	Concentração de sólidos suspensos totais presentes no resíduo da descarga de decantadores (mg/L)			
	0	1.500	3.000	4.500
0	533	505	510	522
60	417	332	320	318
120	418	319	315	312

TABELA B15 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 3, em termos de remoção de DQO

Tempo (min)	DQO (mg/L)			
	Percentual de resíduo da lavagem de filtros contido no esgoto sanitário			
	0%	1%	3%	6%
0	574	550	545	508
60	447	440	399	346
120	445	413	398	346

TABELA B16 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 4, em termos de remoção de DQO

Tempo (min)	DQO (mg/L)			
	Percentual de resíduo total da ETA contido no esgoto sanitário			
	0%	3%	5%	7%
0	376	373	355	342
60	368	320	312	300
120	340	324	310	290

TABELA B17 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 5,
em termos de remoção de DQO

Tempo (min)	DQO (mg/L)			
	Concentração de sólidos suspensos totais presentes no resíduo total da ETA (mg/L)			
	0	900	2.500	3.500
0	500	450	379	512
60	433	364	279	265
120	395	333	273	233

TABELA B18 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 6,
em termos de remoção de DQO

Tempo (min)	DQO (mg/L)			
	Percentual de resíduo total da ETA contido no esgoto sanitário			
	0%	5%	7%	9%
0	572	580	572	560
60	404	283	260	255
120	379	279	267	253

TABELA B19 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 1,
em termos de remoção de sólidos totais

Tempo (min)	SÓLIDOS TOTAIS (mg/L)			
	Percentual de resíduo da descarga de decantadores contido no esgoto sanitário			
	0%	2%	4%	6%
0	620	628	638	647
60	418	400	398	380
120	420	398	394	366

TABELA B20 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 2,
em termos de remoção de sólidos totais

Tempo (min)	SÓLIDOS TOTAIS (mg/L)			
	Concentração de sólidos suspensos totais presentes no resíduo da descarga de decantadores (mg/L)			
	0	1.000	3.000	4.500
0	434	490	490	606
60	408	406	402	340
120	394	386	378	324

TABELA B21 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 3,
em termos de remoção de sólidos totais

Tempo (min)	SÓLIDOS TOTAIS (mg/L)			
	Percentual de resíduo da lavagem de filtros contido no esgoto sanitário			
	0%	1%	3%	6%
0	602	620	628	646
60	600	618	616	576
120	560	580	560	534

TABELA B22 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 4,
em termos de remoção de sólidos totais

Tempo (min)	SÓLIDOS TOTAIS (mg/L)			
	Percentual de resíduo total da ETA contido no esgoto sanitário			
	0%	3%	5%	7%
0	350	376	384	388
60	348	354	330	310
120	328	316	316	310

TABELA B23 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 5,
em termos de remoção de sólidos totais

Tempo (min)	SÓLIDOS TOTAIS (mg/L)			
	Concentração de sólidos suspensos totais presentes no resíduo total da ETA (mg/L)			
	0	900	2.500	3.500
0	528	544	616	686
60	410	416	364	346
120	404	386	340	320

TABELA B24 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 6,
em termos de remoção de sólidos totais

Tempo (min)	SÓLIDOS TOTAIS (mg/L)			
	Percentual de resíduo total da ETA contido no esgoto sanitário			
	0%	5%	7%	9%
0	564	600	654	708
60	460	440	490	446
120	428	334	370	350

TABELA B25 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 1,
em termos de remoção de sólidos voláteis totais

Tempo (min)	SÓLIDOS VOLÁTEIS TOTAIS (mg/L)			
	Percentual de resíduo da descarga de decantadores contido no esgoto sanitário			
	0%	2%	4%	6%
0	392	394	395	397
60	232	226	210	206
120	226	212	210	204

TABELA B26 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 2,
em termos de remoção de sólidos voláteis totais

Tempo (min)	SÓLIDOS VOLÁTEIS TOTAIS (mg/L)			
	Concentração de sólidos suspensos totais presentes no resíduo da descarga de decantadores (mg/L)			
	0	1.000	3.000	4.500
0	360	350	345	340
60	340	300	280	270
120	310	260	240	238

TABELA B27 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 3,
em termos de remoção de sólidos voláteis totais

Tempo (min)	SÓLIDOS VOLÁTEIS TOTAIS (mg/L)			
	Percentual de resíduo da lavagem de filtros contido no esgoto sanitário			
	0%	1%	3%	6%
0	410	400	360	322
60	370	336	292	255
120	350	308	279	230

TABELA B28 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 4,
em termos de remoção de sólidos voláteis totais

Tempo (min)	SÓLIDOS VOLÁTEIS TOTAIS (mg/L)			
	Percentual de resíduo total da ETA contido no esgoto sanitário			
	0%	3%	5%	7%
0	268	258	253	240
60	260	220	210	200
120	258	200	196	180

TABELA B29 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 5,
em termos de remoção de sólidos voláteis totais

Tempo (min)	SÓLIDOS VOLÁTEIS TOTAIS (mg/L)			
	Concentração de sólidos suspensos totais presentes no resíduo total da ETA (mg/L)			
	0	900	2.500	3.500
0	264	263	262	256
60	182	176	160	140
120	154	138	130	85

TABELA B30 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 6,
em termos de remoção de sólidos voláteis totais

Tempo (min)	SÓLIDOS VOLÁTEIS TOTAIS (mg/L)			
	Percentual de resíduo total da ETA contido no esgoto sanitário			
	0%	5%	7%	9%
0	378	404	392	388
60	250	250	240	230
120	238	230	224	216

TABELA B31 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 1,
em termos de remoção de fosfatos

Tempo (min)	FOSFATOS (mg/L)			
	Percentual de resíduo da descarga de decantadores contido no esgoto sanitário			
	0%	2%	4%	6%
0	29	27	26	25
60	26	23	21	19
120	26	22	20	18

TABELA B32 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 2,
em termos de remoção de fosfatos

Tempo (min)	FOSFATOS (mg/L)			
	Concentração de sólidos suspensos totais presentes no resíduo da descarga de decantadores da ETA (mg/L)			
	0	1.000	3.000	4.500
0	21	21	21	21
60	20,5	19	18	18
120	20	18	17	16

TABELA B33 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 3,
em termos de remoção de fosfatos

Tempo (min)	FOSFATOS (mg/L)			
	Percentual de resíduo da lavagem de filtros contido no esgoto sanitário			
	0%	1%	3%	6%
0	31	31	31	24
60	31	28	28	20
120	30	27	26	18

TABELA B34 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 4,
em termos de remoção de fosfatos

Tempo (min)	FOSFATOS (mg/L)			
	Percentual de resíduo total da ETA contido no esgoto sanitário			
	0%	3%	5%	7%
0	18,5	17,5	17,5	17
60	17,5	16,5	16,5	15
120	17	16	16	14

TABELA B35 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 5,
em termos de remoção de fosfatos

Tempo (min)	FOSFATOS (mg/L)			
	Concentração de sólidos suspensos totais presentes total da ETA (mg/L)			
	0	900	2.500	3.500
0	20	19	18	18
60	19	16	13	12
120	18	14	12,5	11,5

TABELA B36 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 6,
em termos de remoção de fosfatos

Tempo (min)	FOSFATOS (mg/L)			
	Percentual de resíduo total da ETA contido no esgoto sanitário			
	0%	5%	7%	9%
0	19	18	18	18
60	18	12	11	10
120	17	11	10	9

TABELA B37 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 1, em termos de remoção de nitrogênio total kjeldahl

Tempo (min)	NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL (mg/L)			
	Percentual de resíduo da descarga de decantadores contido no esgoto sanitário			
	0%	2%	4%	6%
0	44	44	41	41
60	41	39	34	33
120	39	37	31	30

TABELA B38 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 2, em termos de remoção de nitrogênio total kjeldahl

Tempo (min)	NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL (mg/L)			
	Concentração de sólidos suspensos totais presentes no resíduo da descarga de decantadores da ETA (mg/L)			
	0	1.000	3.000	4.500
0	31	31	30	29
60	30	28	27	26
120	30	28	26	25

TABELA B39 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 3, em termos de remoção de nitrogênio total kjeldahl

Tempo (min)	NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL (mg/L)			
	Percentual de resíduo da lavagem de filtros contido no esgoto sanitário			
	0%	1%	3%	6%
0	31	31	31	24
60	31	28	28	20
120	30	27	26	18

TABELA B40 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 4, em termos de remoção de nitrogênio total kjeldahl

Tempo (min)	NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL (mg/L)			
	Percentual de resíduo total da ETA contido no esgoto sanitário			
	0%	3%	5%	7%
0	30	30	30	30
60	30	27	27	25
120	29	24	25	22

TABELA B41 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 5,
em termos de remoção de nitrogênio total kjeldahl

Tempo (min)	NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL (mg/L)			
	Concentração de sólidos suspensos totais presentes no resíduo total da ETA (mg/L)			
	0	900	2.500	3.500
0	27	24	25	26
60	25	21	21	22
120	22	20	21	19

TABELA B42 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 6,
em termos de remoção de nitrogênio total kjeldahl

Tempo (min)	NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL (mg/L)			
	Percentual de resíduo total da ETA contido no esgoto sanitário			
	0%	5%	7%	9%
0	39	39	39	37
60	38	35	29	27
120	37	32	29	27

TABELA B43 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 1,
em termos de remoção de coliformes totais e fecais

Tempo (min)	COLIFORMES TOTAIS (NMP/100 mL)				COLIFORMES FECAIS (NMP/100 mL)			
	Percentual de resíduo da descarga de decantadores contido no esgoto sanitário				Percentual de resíduo da descarga de decantadores contido no esgoto sanitário			
	0%	2%	4%	6%	0%	2%	4%	6%
	0%	2%	4%	6%	0%	2%	4%	6%
0	1203000	1299700	1046200	1046200	129100	191800	81640	120300
60	1119900	1046200	920800	839000	121000	106700	77010	77010
120	920800	839000	770100	686700	83000	72700	46110	51200

TABELA B44 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 2,
em termos de remoção de coliformes totais e fecais

Tempo (min)	COLIFORMES TOTAIS (NMP/100 mL)				COLIFORMES FECAIS (NMP/100 mL)			
	Concentração de sólidos suspensos totais presentes no resíduo da descarga de decantadores (mg/L)				Concentração de sólidos suspensos totais presentes no resíduo da descarga de decantadores (mg/L)			
	0	1.000	3.000	4.500	0	1.000	3.000	4.500
0	1580700	1502000	1539000	1467000	172500	186000	113700	204600
60	1125000	976300	613100	224700	120380	101400	57300	20100
120	1119900	686700	179300	62400	89600	56500	13400	7400

TABELA B45 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 3,
em termos de remoção de coliformes totais e fecais

Tempo (min)	COLIFORMES TOTAIS (NMP/100 mL)				COLIFORMES FECAIS (NMP/100 mL)			
	Percentual de resíduo da lavagem de filtros contido no esgoto sanitário				Percentual de resíduo da lavagem de filtros contido no esgoto sanitário			
	0%	1%	3%	6%	0%	1%	3%	6%
0	1413600	1119900	1343000	1350000	260200	344800	218700	387300
60	425500	413000	583000	275000	79400	77100	81300	83900
120	214300	315300	416000	190600	41300	56500	78300	62400

TABELA B46 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 4,
em termos de remoção de coliformes totais e fecais

Tempo (min)	COLIFORMES TOTAIS (NMP/100 mL)				COLIFORMES FECAIS (NMP/100 mL)			
	Percentual de resíduo total da ETA contido no esgoto sanitário				Percentual de resíduo total da ETA contido no esgoto sanitário			
	0%	3%	5%	7%	0%	3%	5%	7%
0	14080	13500	13400	13400	6240	740	970	2380
60	7500	6300	2430	1000	1340	310	200	413
120	4200	2000	1000	1000	920,8	238	109	1

TABELA B47 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 5,
em termos de remoção de coliformes totais e fecais

Tempo (min)	COLIFORMES TOTAIS (NMP/100 mL)				COLIFORMES ECAIS (NMP/100 mL)			
	Concentração de sólidos suspensos totais presentes no resíduo total da ETA (mg/L)				Concentração de sólidos suspensos totais presentes no resíduo total da ETA (mg/L)			
	0	900	2.500	3.500	0	900	2.500	3.500
0	16191300	10462000	7270000	10572000	3238260	1986300	1732900	1986300
60	15531000	3448000	839000	729000	3106200	1304400	1046200	218700
120	12997000	3287000	744000	683000	2599400	1046100	387300	205000

TABELA B48 – Resultados do teste de sedimentação para o ESTUDO 6,
em termos de remoção de coliformes totais e fecais

Tempo (min)	COLIFORMES TOTAIS (NMP/100 mL)				COLIFORMES FCAIS (NMP/100 mL)			
	Percentual de total da ETA contido no esgoto sanitário				Percentual de total da ETA contido no esgoto sanitário			
	0%	5%	7%	9%	0%	5%	7%	9%
0	209800	727000	920800	1986300	43700	344800	248900	461100
60	119800	517200	410600	727000	36900	248900	184200	344100
120	83000	248900	344800	344800	23300	151500	129100	166900

ANEXO C

TABELA C1 – Resultados do teste de tratabilidade anaeróbia de lodos, em termos de produção de metano, para o ESTUDO 1

Tempo (h)	CONCENTRAÇÃO DE METANO (mol/L)			
	Percentual de resíduo da descarga de decantadores contido no esgoto sanitário			
	0%	2%	4%	6%
0	0	0	0	0
5	0,0011	0,00115	0,00112	0,00174
17,75	0,00324	0,0033	0,00393	0,00475
24,75	0,00505	0,0053	0,00626	0,00739
40,75	0,00732	0,00844	0,00996	0,01151
48,5	0,0085	0,00947	0,01098	0,01163
67,5	0,01109	0,01257	0,01472	0,01632
73,5	0,01218	0,0137	0,01569	0,01728
89	0,01538	0,01772	0,01953	0,02169
96	0,01668	0,01748	0,01971	0,02159
112,75	0,01948	0,0218	0,02402	0,02551
121,25	0,01947	0,02169	0,02398	0,02562
134,75	0,02224	0,02469	0,02693	0,02828
142,5	0,02247	0,02471	0,02827	0,02802
158,75	0,02673	0,02846	0,03095	0,03187
166,25	0,0267	0,02876	0,03084	0,03202
182,5	0,02945	0,03149	0,03418	0,03527
190,25	0,02893	0,03185	0,03332	0,03463
206,75	0,03365	0,03558	0,0357	0,03612
214,5	0,03121	0,03353	0,03584	0,03736
230,75	0,03451	0,03612	0,03888	0,03998
250,25	0,03628	0,03794	0,0423	0,0443
266,75	0,03626	0,0379	0,03882	0,04051
294,75	0,03946	0,04085	0,04162	0,04274
335,5	0,03893	0,04028	0,0447	0,04654
351,25	0,03966	0,0414	0,04464	0,04632
372,25	0,04352	0,04468	0,04718	0,04738
396,25	0,0449	0,04561	0,04928	0,05041
424,25	0,04836	0,05413	0,05061	0,05178
444,25	0,05162	0,0511	0,05322	0,05343
471,25	0,05059	0,0508	0,05241	0,05355
504,75	0,04787	0,04849	0,04927	0,05332
527,75	0,04637	0,04661	0,04734	0,0493
551,75	0,0455	0,04773	0,04717	0,04895
571,25	0,05054	0,05316	0,05062	0,05452
600,25	0,05178	0,05286	0,0516	0,05619
667	0,05022	0,05137	0,05005	0,05147

TABELA C2 – Resultados do teste de tratabilidade anaeróbia de lodos, em termos de produção de metano, para o ESTUDO 2

Tempo (h)	CONCENTRAÇÃO DE METANO (mol/L)			
	Concentração de sólidos suspensos totais presentes no resíduo da descarga de decantadores (mg/L)			
	0	1.000	3.000	4.500
0	0	0	0	0
1	2,66E-04	3,01E-04	2,37E-04	5,80E-04
7	1,88E-03	1,83E-03	1,81E-03	2,53E-03
20	8,11E-03	7,35E-03	7,77E-03	8,76E-03
28	1,01E-02	1,04E-02	1,06E-02	1,14E-02
44	1,61E-02	1,59E-02	1,57E-02	1,62E-02
52	1,81E-02	1,45E-02	1,65E-02	1,82E-02
68	2,59E-02	2,45E-02	2,57E-02	2,44E-02
76	2,47E-02	2,42E-02	2,59E-02	2,58E-02
92	3,25E-02	3,29E-02	3,24E-02	3,10E-02
101	3,40E-02	3,41E-02	3,54E-02	3,45E-02
116	3,45E-02	3,62E-02	3,63E-02	3,57E-02
123	3,49E-02	3,54E-02	3,53E-02	3,53E-02
141	4,14E-02	4,22E-02	4,17E-02	4,14E-02
150	4,33E-02	4,34E-02	4,29E-02	4,28E-02
167	4,53E-02	4,49E-02	4,39E-02	4,37E-02
175	4,21E-02	4,18E-02	4,11E-02	4,14E-02
189	4,23E-02	4,42E-02	4,30E-02	4,33E-02
201	4,51E-02	4,50E-02	4,31E-02	4,24E-02
213	4,78E-02	4,68E-02	4,48E-02	4,54E-02
238	4,79E-02	4,75E-02	4,45E-02	4,43E-02
243	4,63E-02	4,57E-02	4,36E-02	4,30E-02
259	4,64E-02	4,38E-02	4,26E-02	4,27E-02
266	4,34E-02	4,36E-02	4,22E-02	4,15E-02
290	4,26E-02	4,21E-02	4,07E-02	4,03E-02
316	4,55E-02	4,59E-02	4,30E-02	4,26E-02
333	4,71E-02	4,59E-02	4,30E-02	4,27E-02
356	4,89E-02	4,79E-02	4,58E-02	4,54E-02
379	4,73E-02	4,59E-02	4,35E-02	4,37E-02
403	4,64E-02	4,51E-02	4,28E-02	4,31E-02
427	4,71E-02	4,45E-02	4,27E-02	4,20E-02
451	4,64E-02	4,68E-02	4,51E-02	4,40E-02
499	4,67E-02	4,52E-02	4,37E-02	4,29E-02
555	4,84E-02	4,76E-02	4,43E-02	4,49E-02
601	4,86E-02	4,67E-02	4,44E-02	4,42E-02
689	4,83E-02	4,81E-02	4,52E-02	4,51E-02

TABELA C3 – Resultados do teste de tratabilidade anaeróbia de lodos, em termos de produção de metano, para o ESTUDO 3

Tempo (min)	CONCENTRAÇÃO DE METANO (mol/L)			
	Percentual de resíduo da lavagem de filtros contido no esgoto sanitário			
	0%	1%	3%	6%
0	0	0	0	0
1	0,00024	0,00024	0,00031	0,00033
14,5	0,00187	0,00182	0,00182	0,00209
20,5	0,00316	0,00324	0,00339	0,00365
36,5	0,00485	0,00492	0,00504	0,00555
44	0,00569	0,00603	0,00611	0,00647
66	0,00788	0,0084	0,00888	0,00935
70	0,00796	0,00806	0,00827	0,00919
85	0,01116	0,01104	0,01186	0,01271
91	0,01116	0,01113	0,01253	0,01281
108,5	0,01436	0,01435	0,01565	0,01685
117,5	0,01403	0,01422	0,01579	0,01691
128,5	0,01608	0,01629	0,01858	0,01969
136	0,01484	0,01474	0,01646	0,01754
152,5	0,01936	0,01916	0,02222	0,02329
159,5	0,01921	0,01883	0,0216	0,02351
176	0,02171	0,0212	0,02572	0,02718
183,5	0,01975	0,021	0,02351	0,02539
200,5	0,03	0,03003	0,03004	0,0303
208	0,02243	0,02266	0,02744	0,03038
224,5	0,02673	0,02607	0,03223	0,0357
255,5	0,02907	0,02868	0,03747	0,04278
272,5	0,02911	0,02954	0,03325	0,03654
280,5	0,02932	0,02965	0,03413	0,0369
293,5	0,03221	0,0328	0,0379	0,03898
301,5	0,03245	0,0339	0,03666	0,03995
316	0,03582	0,03722	0,04284	0,04793
324	0,03033	0,03041	0,03702	0,03861
338	0,03067	0,03223	0,04291	0,04689
345,5	0,03042	0,03178	0,04088	0,0451
363,5	0,03444	0,03571	0,04364	0,04572
370,5	0,0304	0,03266	0,04213	0,04492
387,5	0,03559	0,03758	0,04737	0,05089
419,5	0,04522	0,05573	0,05161	0,05461
435,5	0,04615	0,04548	0,05412	0,05582
441,5	0,04083	0,04119	0,04766	0,05107
457,5	0,05063	0,04697	0,05516	0,05967
465,5	0,04707	0,04683	0,05385	0,0562
481,5	0,05098	0,0499	0,05443	0,06241
491,5	0,04667	0,04472	0,05217	0,05619
504,5	0,04475	0,04596	0,04974	0,05708
526,5	0,03914	0,04043	0,04499	0,04979
543,5	0,03913	0,04522	0,04626	0,05187
550,5	0,0392	0,04312	0,04498	0,04948
565,5	0,04669	0,05203	0,05085	0,05941
599,5	0,04887	0,05161	0,05256	0,062
613,5	0,04492	0,05079	0,04968	0,05558

Continuação da Tabela C5

636,5	0,04999	0,05079	0,05215	0,05598
661	0,04694	0,04929	0,05083	0,0563
689	0,04879	0,05086	0,04976	0,05462
717	0,04885	0,05233	0,04919	0,05426
733	0,05096	0,05626	0,05094	0,054

TABELA C4 – Resultados do teste de tratabilidade anaeróbia de lodos, em termos de produção de metano, para o ESTUDO 4

Tempo (min)	CONCENTRAÇÃO DE METANO (mol/L)			
	Percentual de resíduo total da ETA contido no esgoto sanitário			
	0	3%	5%	7%
0	0	0	0	0
9	1,97E-03	0,00207	0,00194	0,00315
21	4,61E-03	0,00478	0,00605	0,0074
29	6,94E-03	0,00736	0,00912	0,01112
45	9,79E-03	0,01196	0,01488	0,01746
53	1,13E-02	0,0129	0,01584	0,01679
69	1,43E-02	0,01673	0,02056	0,02328
77	1,64E-02	0,01935	0,02312	0,02537
93	1,96E-02	0,02439	0,0272	0,03067
101	2,22E-02	0,02383	0,02688	0,03037
117	2,46E-02	0,02925	0,0324	0,03418
125	2,49E-02	0,02916	0,03216	0,03433
141	2,84E-02	0,03308	0,03528	0,03687
149	3,01E-02	0,03467	0,04008	0,03851
165	3,41E-02	0,03776	0,03968	0,04045
173	3,42E-02	0,03869	0,04008	0,04052
189	3,72E-02	0,04178	0,04264	0,04336
197	3,81E-02	0,04271	0,04312	0,04388
213	3,73E-02	0,04112	0,04136	0,04194
221	4,00E-02	0,04439	0,04424	0,04433
237	4,23E-02	0,04617	0,04552	0,04425
245	4,35E-02	0,0472	0,04712	0,04582
261	4,34E-02	0,04626	0,0444	0,04448
309	4,96E-02	0,05206	0,04912	0,04858
333	4,72E-02	0,04832	0,04648	0,04619
357	4,89E-02	0,05103	0,0484	0,04754
381	5,26E-02	0,05364	0,05072	0,04903
405	5,42E-02	0,05364	0,0512	0,04993
429	5,15E-02	0,05252	0,0496	0,04896
453	5,71E-02	0,05673	0,05232	0,05104
477	5,41E-02	0,05477	0,05096	0,0509
505	5,10E-02	0,05103	0,0488	0,04955
529	5,36E-02	0,0528	0,04968	0,04881
553	5,18E-02	0,05234	0,04936	0,04843
577	5,44E-02	0,0543	0,0504	0,04963
601	5,47E-02	0,05411	0,05064	0,05037
673	5,35E-02	0,05346	0,04928	0,04664

TABELA C5 – Resultados do teste de tratabilidade anaeróbia de lodos, em termos de produção de metano, para o ESTUDO 5

Tempo (h)	CONCENTRAÇÃO DE METANO (mol/L)			
	Concentração de sólidos suspensos totais presentes no resíduo total da ETA (mg/L)			
	0	900	2.500	3.500
0	0	0	0	0
1	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
5,5	0,0012	0,0017	0,0018	0,0016
21	0,007	0,0081	0,0075	0,007
27,5	0,0101	0,0109	0,0104	0,01
51,5	0,0166	0,0196	0,0179	0,0161
67,5	0,0229	0,0238	0,0229	0,0202
76,5	0,0199	0,0254	0,0241	0,0225
89,5	0,0267	0,029	0,0273	0,0259
97,5	0,0216	0,0236	0,0227	0,0206
114,5	0,0301	0,0309	0,0297	0,0285
122	0,0306	0,0319	0,0318	0,0307
138,5	0,0298	0,0296	0,0293	0,0284
145,5	0,0327	0,0331	0,0305	0,03
162,5	0,0361	0,038	0,038	0,0364
170,5	0,0309	0,0299	0,0305	0,0299
186,5	0,0405	0,0421	0,0435	0,04
194	0,0396	0,0402	0,0411	0,0386
220,5	0,0398	0,0477	0,0439	0,0342
236,5	0,0397	0,0406	0,0399	0,0404
245,5	0,0347	0,0399	0,038	0,0381
257,5	0,037	0,0439	0,0336	0,0372
266,5	0,0336	0,0393	0,0363	0,0368
280	0,0372	0,0393	0,0404	0,041
287,5	0,0355	0,0366	0,037	0,0363
303	0,0422	0,0429	0,0451	0,0438
312,5	0,038	0,0418	0,0425	0,0418
328,5	0,0487	0,0491	0,0509	0,0473
335,5	0,0347	0,0367	0,0354	0,0348
352,5	0,0459	0,0464	0,048	0,0472
359,5	0,036	0,0381	0,0387	0,038
386,5	0,0428	0,0423	0,0428	0,0463
425	0,0409	0,0419	0,0386	0,0405
433,5	0,035	0,0361	0,0378	0,0394
446,5	0,0395	0,0379	0,0378	0,0395
455,5	0,042	0,0418	0,0427	0,0443
475,5	0,0407	0,0386	0,0409	0,0413
494,5	0,0461	0,0429	0,0479	0,0476
521,5	0,0438	0,041	0,0434	0,0452
550,5	0,039	0,0413	0,0411	0,044
569,5	0,0508	0,0478	0,045	0,0481
577,5	0,0441	0,0447	0,0422	0,0437
601,5	0,0428	0,0434	0,043	0,044
614,5	0,0434	0,0432	0,0449	0,0447
624	0,0456	0,0442	0,045	0,0462
665,5	0,0376	0,0362	0,0369	0,037

TABELA C6 – Resultados do teste de tratabilidade anaeróbia de lodos, em termos de produção de metano, para o ESTUDO 6

Tempo (h)	CONCENTRAÇÃO DE METANO (mol/L)			
	Percentual de resíduo total da ETA contido no esgoto sanitário			
	0%	5%	7%	9%
0	0	0	0	0
1	6,87E-04	1,12E-03	7,70E-04	8,12E-04
6,5	3,07E-03	4,03E-03	3,33E-03	3,21E-03
23	1,31E-02	1,45E-02	1,34E-02	1,29E-02
29,5	1,45E-02	1,60E-02	1,47E-02	1,35E-02
44,5	2,83E-02	3,06E-02	2,92E-02	2,79E-02
56,5	3,34E-02	3,67E-02	3,42E-02	3,22E-02
71,5	3,81E-02	4,09E-02	3,90E-02	3,58E-02
79,5	3,74E-02	4,60E-02	4,21E-02	3,97E-02
92,5	4,53E-02	4,91E-02	4,50E-02	4,36E-02
101	4,40E-02	4,79E-02	4,59E-02	4,26E-02
116	5,28E-02	5,55E-02	5,28E-02	4,96E-02
124	4,73E-02	5,14E-02	4,96E-02	4,71E-02
141	5,68E-02	5,90E-02	5,57E-02	5,26E-02
148,5	4,57E-02	4,87E-02	4,64E-02	4,32E-02
167,5	5,90E-02	6,36E-02	5,88E-02	5,74E-02
173,5	4,57E-02	4,94E-02	4,79E-02	4,68E-02
188	6,18E-02	6,59E-02	6,37E-02	6,15E-02
197	5,93E-02	6,25E-02	6,01E-02	5,74E-02
213	6,91E-02	7,18E-02	6,93E-02	6,76E-02
224	5,24E-02	4,80E-02	4,67E-02	4,50E-02
265	5,76E-02	6,85E-02	7,40E-02	7,05E-02
286	6,08E-02	6,30E-02	6,70E-02	6,27E-02
294	5,86E-02	5,94E-02	6,11E-02	6,04E-02
308,5	7,46E-02	7,37E-02	6,78E-02	6,75E-02
317,5	5,62E-02	5,66E-02	5,70E-02	5,55E-02
333,5	7,05E-02	7,22E-02	7,54E-02	7,23E-02
344	4,97E-02	5,16E-02	5,26E-02	5,19E-02
356,5	5,66E-02	5,77E-02	6,04E-02	5,95E-02
364,5	5,21E-02	5,41E-02	6,92E-02	6,24E-02
381,5	6,35E-02	6,38E-02	6,57E-02	6,31E-02
405,5	5,72E-02	5,55E-02	5,57E-02	5,42E-02
427,5	5,95E-02	6,02E-02	5,64E-02	5,91E-02
437	5,85E-02	5,94E-02	6,02E-02	5,93E-02
452	6,19E-02	6,21E-02	6,21E-02	6,09E-02
460,5	5,14E-02	5,19E-02	5,21E-02	5,00E-02
475,5	6,70E-02	6,57E-02	6,63E-02	6,53E-02
484	5,08E-02	5,15E-02	5,20E-02	5,12E-02
500	6,13E-02	6,12E-02	6,18E-02	6,09E-02
508,5	5,48E-02	5,54E-02	5,52E-02	5,44E-02
524	6,07E-02	6,13E-02	6,16E-02	6,01E-02
532	5,60E-02	5,67E-02	5,62E-02	5,37E-02
576,5	6,88E-02	6,74E-02	6,90E-02	6,69E-02
628,5	5,11E-02	5,34E-02	5,52E-02	6,00E-02
648,5	5,47E-02	5,80E-02	5,75E-02	5,93E-02
672,5	4,78E-02	4,88E-02	5,07E-02	4,94E-02
700,5	5,55E-02	5,63E-02	5,82E-02	5,83E-02
729,5	5,64E-02	5,75E-02	5,88E-02	5,84E-02

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION (1995). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 19. ed., Washington, D.C, USA.

* AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (1996). *Management of Water Treatment Plant Residuals*. New York, AWWA.

* AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION RESEARCH FOUNDATION & KEURINGSINSTITUUT VOOR WATERLEIDINGARTIKELEN (1990). *Slib, Schlamm, Sludge*. Cornwell & Koppers (ed.), Denver. American Water Works Association Research Foundation.

ARAÚJO, J.C. (1995). *Caracterização e evolução do biofilme em reator anaeróbio de leito fluidificado alimentado com esgoto sanitário sintético*. São Carlos, 158 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

BARBOSA, A.B.D (1997). *A experiência da CAESB em recuperação de água de lavagem de filtros e desaguamento de lodos de ETA*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19., Foz do Iguaçu. ABES, Anais, II-070, p. 1501-1507.

BARLOW, J. H. (1974). Sludge handling and disposal. *Processing Water-Treatment-Plant Sludge*. American Water Works Association, Denver, Colorado, USA, 512 p.

◊ CALKINS, J.R.; NOVAK, T.J. (1974). *Characterization of chemical sludges. Processing Water-Treatment-Plant Sludge*. American Water Works Association, Denver, Colorado, USA, 512 p.

CASTRO et al. (1997a). *O problema da caracterização qualitativa e quantitativa dos efluentes gerados nas ETA - O caso da unidade de tratamento e recuperação de resíduos - UTR do sistema rio das velhas*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19., Foz do Iguaçu. ABES, Anais, p. 1423-1430.

CENTRO DE APOIO OPERACIONAL ÀS PROMOTORIAS DE PROTEÇÃO AO MEIO AMBIENTE (1999). Leis de crimes ambientais de 12 de fevereiro de 1998. Caopma@pr.gov.br (1999).

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO - SABESP (1987). *Recuperação de águas de lavagens, tratamento e disposição de resíduos de ETAs da RMSP*. Revista DAE, São Paulo, v. 47, n. 150. p. 216-21.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (1987). *Operação de controle de estações de tratamento de água*. Relatório, CETESB, São Paulo.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB (1991). *Avaliação de desempenho de estações de tratamento de esgotos*. Manual, CETESB, São Paulo, p. 38.

CORDEIRO, J.S. (1981). *Disposição, tratabilidade e reuso de lodos de estações de tratamento de água*. São Carlos. 155 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

- CORDEIRO, J.S. (1993). *O problema dos lodos gerados nos decantadores de estações de tratamento de água*. São Carlos. 324 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- CORNWELL, D.A. et al. (1987). *Handbook of practice water treatment plant waste management*. 1. ed., Virginia, American Water Works Association Research Foundation.
- DeWALLE, F. B. et al. (1979). Heavy metal removal with completely mixed anaerobic filter. *Journal water pollution control federation*, v. 1, n. 1, p. 22-35, 1979.
- DI BERNARDO, L. (1993). Métodos e técnicas de tratamento de água. V. 1, ABES.
- FERREIRA FILHO (1997). *Pré-condicionamento de lodos de ETAs visando o seu adensamento por gravidade*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19., Foz do Iguaçu. ABES, Anais II-025, p. 1181-1192.
- FULTON, G.P. (1973). Sludge Handling: what's the best method?. *Water and Wastes Engineering*, v. 10, n. 3, p. 42-47.
- GATTES, C.D.; Mac DERMOTT, R.F. (1968). Characterization and conditioning of water treatment plant sludge. *Journal of American Water Works Association*, 60 (3), p. 331-344.
- GRANDIN, S.R. (1992). *Desaguamento dos lodos produzidos nas estações de tratamento de água*. São Paulo. 2 v. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- HILSON, M. A. (1980). Sludge treatment and disposal. In: LEWIS, W. M., ed. *Developments in water treatment - 2*. London; Applied Science, cap. 6, p. 163-188.

- INSTITUTO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (1999). Lei de crimes ambientais de 12 de fevereiro de 1998. fzilda@sede.ibama.gov.br (1999).
- METCALF & EDDY (1991). Wastewater engineering – treatment, disposal, and reuse. Third Edition, McGraw-Hill International Editions, New York, p. 1334.
- MURRAY, K. et al. (1994). *Waterworks residuals management: A comparasion of US and UK practices*. In: The management of water and wastewater solids for the 21st. Century, june, 19-22, Washington D.C, USA.
- PENNA, J. A. (1994). *Estudo da metodologia do teste de atividade metanogênica específica*. Tese de doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- PONTINS, F. W. (1994). Disposal of radioactive residuals requires careful planning. Journal of AWWA, n. 11, v. 86.
- RODENAS-GARCIA, M. L.A (1996). *Efeito tóxico de alguns metais pesados e cianeto na digestão anaeróbia de lodos de esgoto*. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SILVA, M. O. S. A. (1974). Teste de toxidez para lodos de esgotos – controle de digestores. Revista DAE, n. 95, p. 78 a 84.
- SOUZA FILHO, A. G. (1998) *Caracterização e clarificação por sedimentação da água de lavagem de filtros rápidos de uma estação de tratamento de água que utiliza cloreto férrico como coagulante primário*. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SPEECE, R. E. (1983). *Review – Environmental requeriments for anaerobic digestion of biomass*. IN: Advances in solar energy. (An annual review of research and development), Philadelphia, Environmental Studies Institute, 1983, p. 27-30.

VILLAS BOAS, D. M. F. (1996). Comunicação pessoal, ETE-Barueri, São Paulo.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION & AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (1992). *Design of municipal wastewater treatment plants*, v. 1, WEF & ASCE, New York, USA.

ZANONI, A E. & BLOMQUIST, M. W. (1969). Column settling tests for flocculant suspensions. *Journal of the Environmental Engineering Division*. p. 309-319; jun. 1975.