GILBERTO CARLOS SUNDEFELD JUNIOR

**EFEITOS DO RECEBIMENTO DO LODO DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA PELO SISTEMA DE TRATAMENTO DE
ESGOTO POR LODO ATIVADO EM BATELADAS E AERAÇÃO
PROLONGADA DO MUNICÍPIO DE JUQUITIBA - SP**

São Paulo

2007

GILBERTO CARLOS SUNDEFELD JUNIOR

**EFEITOS DO RECEBIMENTO DO LODO DA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA PELO SISTEMA DE TRATAMENTO DE
ESGOTO POR LODO ATIVADO EM BATELADAS E AERAÇÃO
PROLONGADA DO MUNICÍPIO DE JUQUITIBA - SP**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Grau de Mestre
em Engenharia Civil**

Área de concentração: Engenharia Civil

**Orientador: Prof. Livre-Docente Roque
Passos Piveli**

**São Paulo
2007**

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, de junho de 2007.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Sundefeld Júnior, Gilberto Carlos

Efeitos do recebimento do lodo da estação de tratamento de água pelo sistema de tratamento de esgoto por lodo ativado em bateladas e aeração prolongada do Município de Juquitiba - SP / G.C. Sundefeld Jr. -- ed.rev. -- São Paulo, 2007.

107 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.

1. Lodo ativado 2. Estações de tratamento de água I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária II. 2007.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares pela compreensão e apoio a mim prestado ao longo deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Livre docente Roque Passos Piveli pelas informações e experiências profissionais passadas que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos técnicos do Laboratório de Saneamento Prof. Lucas Nogueira Garcez, Fábio e Laerte.

Aos bibliotecários da Biblioteca EP-Civil, USP.

Aos novos amigos funcionários da SABESP o Químico Osvaldo Beltrame Filho, que se esforçou tanto quanto eu para as realizações conquistadas, Crysthian Antunes operador da ETE e, seguidamente, encarregado dos sistemas de saneamento do município e João Laide Silva operador da ETA. Também ao Arlindo Bambi, Arlindo Soares, Ednir Lara de Pádua, Janethe Daneluz Silva, Márcio Rodrigues Cunha, Simião Rodrigues Fortes Filho e Waldecir Teodoro Garcia.

Às novas amigas Maria Aparecida Faustino Pires e Marycel Cotrim do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, pela contribuição prestada para o desenvolvimento deste estudo.

À FAPESP pela concessão da bolsa de mestrado através do processo 06/53000-4.

À FAPESP pelo fomento concedido à esta pesquisa através do Projeto Gerenciamento de Lodos de ETA's. Programa de Políticas Públicas, processo nº03/06419-1.

E aos colegas de pós-graduação Lúcia, Carlos, Luciano, Rui e Ricardo, os quais comigo dividiram o mesmo espaço no laboratório de saneamento.

RESUMO

Existem algumas diferentes soluções técnicas de engenharia para a finalidade de tratamento e disposição final dos resíduos gerados em ETA's aplicáveis aos diferentes sistemas de tratamento de água. Porém, depara-se com estações consolidadas sem os sistemas de tratamento da fase sólida, onde nem sempre a melhor solução para o tratamento é a mais econômica ou ainda, é a possível de ser implantada. Com isso propôs-se neste estudo avaliar a capacidade da estação de tratamento de esgotos receber os resíduos da ETA, da cidade de Juquitiba - SP, via rede coletora de esgotos, uma vez que existe na ETE o sistema de tratamento dos sólidos ali gerados. Este estudo teve como objetivo verificar as transformações do fósforo e do nitrogênio ao longo do sistema de esgotos, verificar as variações das concentrações de DBO, DQO e sólidos em suspensão, assim como verificar se é possível a manutenção de um equilíbrio consistente controlado pela idade do lodo. A estação de tratamento de água produz resíduos que resultariam em um acréscimo médio de 133 mg/L de sólidos no esgoto e ao longo deste estudo atingiu-se 74 mg/L. Esta contribuição representou, aproximadamente, uma situação em que o porte da ETA é o dobro da ETE receptora dos resíduos. Como consequência as concentrações dos sólidos em suspensão totais nos reatores biológicos aumentaram em média 15% e no efluente tratado 73%, ainda a produção de lodo biológico aumentou a ordem de 40%. Ocorreu a diminuição da concentração de fósforo total no efluente tratado da ETE em 29% e 51% para os reatores 1 e 2, respectivamente e da concentração de fósforo solúvel em 74% e 79% para os reatores 1 e 2, respectivamente. Ocorreu a diminuição da remoção média de NKT em 18% e na remoção média de N-NH₃ em 13%. Ocorreu, ainda, a diminuição da remoção dos parâmetros DBO e DQO em 4% após o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos. Pode-se então admitir que ETE's pelo processo de lodo ativado com aeração prolongada e com reatores sequenciais em bateladas são adequados para o recebimento de lodo proveniente de ETA's, desde que projetada para atender a essa função complementar, especialmente no que se refere às unidades de desidratação de lodo.

Palavras chaves: lodo ativado, lodo de ETA

ABSTRACT

There are different technical engineering solutions for the treatment and final disposal of water treatment plants (WTPs) residuals. Discharge of WTP residual to a wastewater treatment plant (WWTP) is a technical solution in evidence. Therefore, the purpose of this study was to evaluate the capacity of the WWTP using sequencing batch reactor (SBR) activated-sludge process (with two reactors named reactor 1 and 2) in the city of Juquitiba, State of São Paulo, to receive the WTP residuals by gravity sanitary sewers. For this purpose the following points were checked: phosphorous and nitrogen transformations in the sewer systems, variations in BOD , COD and suspended solids (SS) concentrations and the possibility of maintaining a consistent balance system controlled by solids retention time. There was an average increase of 74 mg of suspended solids per liter in incoming sewage by the discharge of WTP residuals to sanitary sewers. Suspended solids concentrations in the biological reactors increased 15 percent in average and 73 percent in the final effluent. Production of waste activated-sludge increased by 40 percent. There was a decrease of 29 percent and 51 percent of total phosphorus concentration in the effluent in reactors 1 and 2, respectively, and of 74 percent and 79 percent of soluble phosphorus concentration in reactors 1 and 2, respectively. Total Kjeldahl nitrogen removal efficiency was reduced by 18 percent and ammonia nitrogen removal efficiency by 13 percent. BOD and DQO parameters for efficiency removal showed a decrease of 4 percent after the discharge of WTP residual to sanitary sewers. In view of these results it can be admitted that WWTPs using sequencing batch reactor activated-sludge process are suitable to receive WTP residuals since adequately designed for this complementary function.

Keywords: activated sludge, WTP residuals

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Captação de água bruta superficial para a ETA Juquitiba –SP	4
Figura 3.2 - Unidade de floculação da ETA Juquitiba – SP.....	6
Figura 3.3 - Unidade de decantação da ETA Juquitiba – SP	7
Figura 3.4 - Unidades de filtração da ETA Juquitiba – SP	7
Figura 3.5 - Água de retro-lavagem dos filtros da ETA Juquitiba – SP	9
Figura 3.6 - Descarga de lodo de ETA no corpo d'água	10
Figura 3.7 - Fluxograma simplificado das fases líquida e sólida de uma ETA	12
Figura 3.8 - Esquema simplificado do sistema de lodo ativado de fluxo contínuo.....	16
Figura 3.9 - Esquema simplificado do sistema de lodos ativados em bateladas.....	16
Fugura 3.10 – Representação das quatro frações do material orgânico e seus destinos no processo de lodo ativado (Fonte: adaptado de Metcalf & Eddy, 2003) ..	24
Figura 3.11 – Fluxograma esquemático da matéria orgânica em um sistema de lodo ativado.....	26
Figura 3.12 – Situação do saneamento no Brasil (Fonte: adaptado de SNIS, 2002)	31
Figura 4.1 – Seqüência das unidades produtoras de água tratada do sistema de tratamento de água de Juquitiba: 1- estação de captação de água bruta; 2- floculadores, 3- decantador nº2 e 4- bateria de filtros	39
Figura 4.2 – Lavagem da unidade decantadora da ETA Juquitiba.....	40
Figura 4.3 – Pontos de coletas dos resíduos da ETA	42
Figura 4.4 – Estação de tratamento de esgotos pelo processo e lodo ativado com dois reatores seqüenciais em bateladas	43
Figura 4.5 – Grade de remoção de sólidos grosseiros com limpeza manual	44
Figura 4.6 – Pontos de coleta das amostras da ETE Juquitiba	46
Figura 5.1 – Esquema de cálculo da aplicação dos resíduos da ETA na ETE, no dia da lavagem dos decantadores da ETA.	56
Figura 5.3 – Séries temporais de DBO _{5,20} do esgoto afluyente e efluente da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	60
Figura 5.4 – Séries temporais de DQO do esgoto afluyente e efluente da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	61

Figura 5.5 – Séries temporais de sólidos em suspensão totais do lodo dos reatores biológicos 1 e 2 da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.....	62
Figura 5.6 – Séries temporais de sólidos em suspensão voláteis do lodo dos reatores biológicos 1 e 2 da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.....	62
Figura 5.7 – Séries temporais de sólidos em suspensão fixos do lodo dos reatores biológicos 1 e 2 da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.....	63
Figura 5.8 – Séries temporais de NKT do esgoto afluyente e efluente da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	64
Figura 5.9 – Séries temporais de nitrogênio amoniacal do esgoto afluyente e efluente da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	64
Figura 5.10 – Séries temporais de nitrato do esgoto afluyente e efluente da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	65
Figura 5.11 – Séries temporais de fósforo total do esgoto afluyente e efluente da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	66
Figura 5.12 – Séries temporais de fósforo solúvel do esgoto afluyente e efluente da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	66
Figura 5.13 – Séries temporais de OD do lodo dos reatores biológicos 1 e 2 da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	67
Figura 5.14 – Séries temporais de alcalinidade do esgoto afluyente e tratado da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	68
Figura 5.15 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de $DBO_{5,20}$ do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	69
Figura 5.16 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de DQO do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.....	69
Figura 5.17 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de NKT do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.....	70
Figura 5.18 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.....	70

Figura 5.19 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de fósforo total do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.....	71
Figura 5.20 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de fósforo solúvel do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.....	71
Figura 5.21 – Séries temporais de DBO _{5,20} do esgoto afluente e efluente da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	74
Figura 5.22 – Séries temporais de DQO do esgoto afluente e efluente da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	74
Figura 5.23 – Diagrama “Box-plot” de DBO _{5,20} do esgoto bruto e tratado da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	75
Figura 5.24 – Diagrama “Box-plot” de DBO _{5,20} do esgoto bruto e tratado da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	75
Figura 5.25 – Séries temporais de sólidos em suspensão totais do lodo dos reatores biológicos 1 e 2 da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	77
Figura 5.26 – Séries temporais de sólidos em suspensão voláteis do lodo dos reatores biológicos 1 e 2 da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.....	77
Figura 5.27 – Séries temporais de sólidos em suspensão fixos do lodo dos reatores biológicos 1 e 2 da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	78
Figura 5.28 – Séries temporais de NKT do esgoto afluente e efluente da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	79
Figura 5.29 – Séries temporais de nitrogênio amoniacal dos esgotos afluente e efluente da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.....	79
Figura 5.30 – Diagrama “Box-plot” de NKT do esgoto bruto e tratado da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	80
Figura 5.31 – Diagrama “Box-plot” de NKT do esgoto bruto e tratado da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	80
Figura 5.32 – Diagrama “Box-plot” de nitrogênio amoniacal do esgoto bruto e tratado da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	81

Figura 5.33 – Diagrama “Box-plot” de nitrogênio amoniacal do esgoto bruto e tratado da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.....	81
Figura 5.34 – Séries temporais de fósforo total do esgoto afluyente e efluente da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	82
Figura 5.35 – Séries temporais de fósforo solúvel do esgoto afluyente e efluente da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	83
Figura 5.36 – Diagrama “Box-plot” de fósforo total do esgoto bruto e tratado da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	84
Figura 5.37 – Diagrama “Box-plot” de fósforo total do esgoto bruto e tratado da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	84
Figura 5.38 – Diagrama “Box-plot” de fósforo solúvel do esgoto bruto e tratado da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	85
Figura 5.39 – Diagrama “Box-plot” de fósforo solúvel do esgoto bruto e tratado da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	85
Figura 5.40 – Séries temporais de oxigênio dissolvido do lodo dos reatores 1 e 2 da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos ..	87
Figura 5.41 – Séries temporais de alcalinidade dos esgotos afluyente e tratado da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	88
Figura 5.42 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de $DBO_{5,20}$ do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.....	89
Figura 5.43 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de DQO do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.....	89
Figura 5.44 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de NKT do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.....	90
Figura 5.45– Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	90

Figura 5.46 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de fósforo total do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	91
Figura 5.47 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de fósforo solúvel do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Correlação entre os parâmetros SST e turbidez da água bruta	13
Tabela 3.2 – Exemplo de valores típicos para parâmetros da caracterização de esgotos domésticos (mg/L).	20
Tabela 3.3 – Exemplo de valores típicos para parâmetros da caracterização de esgotos domésticos (mg/L).	21
Tabela 3.4 – Faixas de SV/ST, % de sólidos e densidade dos sólidos do lodo	29
Tabela 4.1 – Ensaio de Jar-Test de aplicação de lodo da ETA Juquitiba no esgoto bruto afluente à ETE	47
Tabela 4.2 – Métodos analíticos e material utilizado na determinação de parâmetros (continua)	48
Tabela 4.2 – Métodos analíticos e material utilizado para determinação dos parâmetros (conclusão).....	49
Tabela 5.1 –Dados de operação da ETA Juquitiba no período de 2 de agosto à 15 de novembro de 2006.	52
Tabela 5.2 – Resumo dos dados de volumes, vazões e concentrações de sólidos em suspensão total obtidos da ETA Juquitiba	53
Tabela 5.3 – Resumo das vazões de entrada de esgotos na ETE Juquitiba	54
Tabela 5.4 – Resumo da aplicação do lodo da ETA na ETE – Juquitiba	55
Tabela 5.5 – Resultados médios dos parâmetros medidos nos resíduos da ETA – Juquitiba	56
Tabela 5.6 – Vazão de esgoto afluente à ETE Juquitiba no período de 24 de maio à 26 de julho de 2006.....	59
Tabela 5.7 – Resultados dos parâmetros DBO _{5,20} e DQO do esgoto afluente e tratado da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	60
Tabela 5.8 - Resultados dos parâmetros sólidos em suspensão totais, voláteis e fixos do esgoto afluente, tratado e do lodo dos reatores biológicos da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	61
Tabela 5.9 - Resultados dos parâmetros NKT, nitrogênio amoniacal e nitrato do esgoto afluente e tratado da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	63

Tabela 5.10 - Resultados dos parâmetros fósforo total e solúvel do esgoto afluyente e tratado da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	65
Tabela 5.11 - Resultados dos parâmetros oxigênio dissolvido, temperatura, pH e alcalinidade do esgoto afluyente, tratado e do lodo dos reatores biológicos da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	67
Tabela 5.12 – Eficiências obtidas pela remoção dos parâmetros DBO _{5,20} , DQO, NKT, nitrogênio amoniacal, fósforo total e solúvel do esgoto afluyente da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos (continua).....	68
Tabela 5.12 – Eficiências obtidas pela remoção dos parâmetros DBO _{5,20} , DQO, NKT, nitrogênio amoniacal, fósforo total e solúvel do esgoto afluyente da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos (conclusão) ...	69
Tabela 5.13 – Vazões de esgoto afluyente à ETE Juquitiba nos períodos de 24 de maio à 26 de julho e 2 de agosto à 15 de novembro de 2006.....	72
Tabela 5.14 – Resultados dos parâmetros DBO _{5,20} e DQO do esgoto afluyente e tratado da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.....	73
Tabela 5.15 - Resultados dos parâmetros sólidos em suspensão totais, voláteis e fixos do esgoto afluyente, tratado e do lodo dos reatores biológicos da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	76
Tabela 5.16 - Resultados dos parâmetros NKT e nitrogênio amoniacal do esgoto afluyente e tratado da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	79
Tabela 5.17 - Resultados dos parâmetros fósforo total e solúvel do esgoto afluyente e tratado da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.....	82
Tabela 5.18 - Resultados dos parâmetros oxigênio dissolvido, temperatura, pH e alcalinidade dos esgotos afluyente, tratado e do lodo dos reatores biológicos da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	86
Tabela 5.19 – Eficiência obtida pela remoção dos parâmetros DBO _{5,20} , DQO, nitrogênio total e amoniacal, fósforo total e solúvel do esgoto afluyente e tratado da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Caracterização semi-quantitativa por FRX, de amostras de lodo provenientes de diferentes ETA's pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape. (REIS, 2005).....	35
Quadro 5.1 – Resultados das análises da fase líquida do lodo da ETA, amostra 986 composta do lodo dos filtros e decantadores, pela técnica analítica ICP-OES/AA e dos compostos deste lodo pela técnica analítica Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (WDXRF)	57

SUMÁRIO

1- Introdução	1
2- Objetivos	3
2.1- Objetivo geral	3
2.2- Objetivos específicos	3
3- Revisão bibliográfica	4
3.1- Estação de tratamento de água e a geração de resíduos	4
3.1.1- ETA Convencional.....	5
3.1.2- Resíduos gerados pela ETA	8
3.2- Estação de tratamento de esgotos pelo processo de lodo ativado em bateladas com aeração prolongada.....	14
3.2.1- Considerações sobre lodo ativado	14
3.2.2- Características do esgoto.....	20
3.2.3- Microrganismos no processo de lodo ativado	22
3.2.4- Remoção da matéria orgânica	23
3.2.5- Sedimentação do lodo.....	27
3.2.6- Tratamento e disposição final da fase sólida	28
3.3- Lançamento do lodo de ETA na ETE	31
4- Material e métodos.....	38
4.1- Considerações iniciais	38
4.2- Plano de trabalho	38
4.2.1- Caracterização do lodo da ETA	38
4.2.2- Caracterização dos esgotos bruto, tratado e do lodo da ETE	43
4.2.3- Métodos analíticos	47
5- Resultados e discussão	51
5.1- Considerações iniciais.....	51
5.2- Caracterização do lodo gerado na estação de tratamento de água	51
5.2.1 Resultados do ensaio de Jar-Test.....	58
5.3- Caracterização dos esgotos bruto, tratado e do lodo do reator biológico da ETE, anteriormente ao início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	59

5.4- Caracterização do esgoto bruto, tratado e do lodo do reator biológico da ETE, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos	72
6- Conclusões e recomendações	93
REFERÊNCIAS	95
Anexo1 – Dados das caracterizações físico-químicas	99

1- Introdução

O desenvolvimento sócio-econômico de um Estado está diretamente relacionado com a sua capacidade de explorar, utilizar e preservar seus recursos, sendo o resultado desta análise um fator determinante da qualidade de vida de sua população.

As concessionárias de saneamento tem como atividades a captação, tratamento, reservação e distribuição de água, a coleta, afastamento e tratamento dos esgotos, sendo estas atividades delicadas ao meio ambiente, pois como uma indústria, elas necessitam de matéria-prima, consomem energia e geram os produtos finais e os resíduos.

O tratamento e disposição de resíduos sólidos gerados durante o processo de tratamento de água tem recebido atenção no Brasil apenas nos últimos anos. Enquanto nos Estados Unidos e em certos países da Europa o problema do tratamento e disposição destes resíduos tem sido estudado extensivamente já na década de 70. Uma das grandes dificuldades na escolha de alternativas de engenharia que contemplem o tratamento de resíduos gerados em ETA's são a escassez de dados e bibliografia nacional a respeito do assunto, basicamente porque, no Brasil, poucas ETA's têm apresentado soluções que objetivam a minimização da quantidade de resíduos sólidos gerados, o seu tratamento e sua disposição final (FERREIRA FILHO e ALEM SOBRINHO, 1998).

As Estações de Tratamento de Água (ETA) para abastecimento público têm como principal função a remoção de impurezas constantes nas águas brutas e para isso empregam, na maioria das vezes, processos físico-químicos no seu tratamento, essas impurezas removidas, juntamente com resíduos dos produtos químicos aplicados, são denominados "lodo de ETA". Estes devem receber um tratamento e serem dispostos de maneira adequada. No Brasil é comum a prática do lançamento desse lodo nos corpos d'água próximos das ETA's, porém com o estreitamento da legislação as concessionárias de abastecimento vem sendo obrigadas investir no tratamento e disposição desse lodo.

Um método de disposição deste resíduo, que tem sido observado nos Estados Unidos, é o lançamento nas estações de tratamento de esgoto (ETE). Alguns estudos no Brasil sobre o lançamento do lodo de ETA nas ETE's mostraram

as interferências sobre unidades predecessoras aos reatores biológicos como os estudos de Carvalho (2000) e Scalize (2003), aos digestores de lodo (como o descrito por Cintra filho (2004). Quando se trata de tratamento de esgotos por lodo ativado convencional, e em processos biológicos anaeróbios, porém existe a necessidade de saber o impacto sobre o processo biológico de lodo ativado com aeração prolongada, ou seja, quando o lodo for despejado diretamente nos reatores biológicos.

No Município de Juquitiba – SP existe um sistema de água e esgotos operado pela SABESP, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, onde tem uma estação de tratamento de água, do tipo convencional, com coagulação, floculação, decantação e filtração, e que lança seus resíduos na galeria de águas pluviais, como em muitas outras estações de tratamento de água no Brasil. E tem uma estação de tratamento de esgotos por lodo ativado com reatores sequenciais em bateladas e com aeração prolongada.

A disposição da planta dos equipamentos de saneamento, no município, é favorável para um trabalho conjunto entre a ETA e a ETE no tratamento das fases sólidas de ambas estações. A ETA encontra-se no início de uma rede coletora de esgotos que termina na estação elevatória de esgotos que abastece a ETE. Dessa maneira foi proposto o lançamento dos resíduos da estação de tratamento de água na rede coletora de esgotos, para o caminhamento até a ETE, onde existe um sistema de desaguamento e disposição dos resíduos sólidos gerados processo de tratamento de esgotos.

2- Objetivos

2.1- Objetivo geral

Avaliar os efeitos do recebimento do lodo de ETA do Município de Juquitiba, que utiliza Sulfato de Alumínio como coagulante, pela ETE, também de Juquitiba, em escala real. Trata-se de uma ETA do tipo convencional, com floculação, decantação e filtração e uma ETE com dois reatores seqüenciais em bateladas que tratam os esgotos pelo processo de lodo ativado com aeração prolongada.

2.2- Objetivos específicos

a- Verificar o efeito do lodo da ETA sobre o equilíbrio do processo de lodo ativado, determinando a concentração de equilíbrio do lodo biológico da ETE afetado pelo acúmulo dos sólidos fixos provenientes do lodo da ETA,

b- Verificar se ocorrem efeitos adversos à nitrificação do esgoto,

c- Verificar se ocorrem efeitos positivos sobre a remoção de fósforo, tanto antes da chegada do lodo da ETA no reator biológico, ou seja, a captura de fósforo do esgoto bruto pelo lodo da ETA ao longo do caminamento pela rede coletora, quanto no reator pelo processo biológico,

d- Verificar se o processo permanece estável, se é possível a manutenção de um equilíbrio consistente do sistema controlado pela idade do lodo,

e- Verificar se ocorrem alterações na produção e na desidratação do excesso de lodos ativados e

f- Verificar se a eficiência na remoção de DBO, DQO e sólidos em suspensão mantém-se estáveis e se não ocorrem episódios freqüentes de arraste de lodo com o efluente final.

3- Revisão bibliográfica

3.1- Estação de tratamento de água e a geração de resíduos

A escolha da tecnologia de tratamento à ser utilizada depende das características biológicas, físicas e químicas (orgânicas, inorgânicas e radiológicas) de cada água, podendo exigir tratamento simples ou mais específicos, visando alcançar os padrões de potabilidade exigidos.

As características e quantidades dos resíduos gerados, por sua vez, irão depender do tipo de tratamento de água adotado, das características da água bruta, das dosagens e qualidades dos produtos químicos utilizados, das reações químicas ocorridas no processo e da forma de remoção e do tempo de retenção desses resíduos nas unidades de tratamento. Na Figura 1 tem-se a Estação de aptação de água bruta para ETA Juquitiba.

Existem diversos processos de tratamento de água como, por exemplo, tratamento sem coagulação química (filtração lenta), tratamento com coagulação química (filtração direta ou tratamento completo), arejamento, abrandamento (por troca iônica ou por dosagem de cal) e separação por membrana (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa), cada um gerando resíduos de características distintas.

Figura 3.1 - Captação de água bruta superficial para a ETA Juquitiba –SP

No Brasil, a maioria das ETAs que tratam águas de mananciais superficiais utiliza o tratamento convencional de ciclo completo, com a aplicação de cloro para

oxidar a matéria orgânica e alguns metais como ferro e manganês, facilitando sua remoção, e adição de cal ou soda para ajustar o pH para as fases seguintes do tratamento. Nos casos dos mananciais que possuem água com grande comprometimento de sua qualidade, o tratamento pode, ainda, ser complementado com o conjunto de outras técnicas, como adsorção em carvão ativado, ou apresentar algumas variações, como oxidação com permanganato de potássio, ou pré-desinfecção com ozônio de forma a atender os requisitos de potabilidade.

3.1.1- ETA Convencional

A ETA do tipo convencional consiste nos seguintes processos unitários (DI BERNARDO, 1993):

- **Coagulação:** é um processo muito rápido realizado na ETA na unidade de mistura rápida, geralmente com a adição de sais de alumínio ou ferro ou de polímeros sintéticos. Resulta de dois fenômenos: químico, que consiste nas reações do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas com carga positiva, dependente da concentração de metal e pH final da mistura, e físico, que consiste no transporte das espécies hidrolisadas para que haja contato com as impurezas presentes na água. A coagulação depende fundamentalmente, das características da água e das impurezas presentes conhecidas através de parâmetros como pH, alcalinidade, cor verdadeira, turbidez, temperatura, mobilidade eletroforética, força iônica, sólidos totais dissolvidos, tamanho e distribuição das partículas em estado coloidal e em suspensão, etc.

Os coagulantes mais utilizados nas ETAs são os sais de alumínio e ferro, como sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$), cloreto férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) e poli cloreto de alumínio. Como auxiliares de coagulação podem-se citar polímeros que podem ser catiônicos, aniônicos ou não iônicos.

- **Floculação:** ocorre em seguida da coagulação e consiste numa agitação da água de forma lenta para que ocorram choques entre as impurezas que se aglomeram formando partículas maiores denominadas flocos os quais podem ser removidas em etapas seguintes por sedimentação por flotação ou por filtração rápida. Com o aumento do tamanho dos agregados acontecem as forças de

cisalhamento que podem romper os flocos. A agregação e a ruptura ocorrem simultaneamente, conduzindo a uma única distribuição de tamanho dos flocos.

Não deveria ocorrer no tanque de floculação a deposição dos flocos, seja por flotação, seja por sedimentação. A unidade floculadora no entanto acumula um pouco destes resíduos, pois sempre existe uma variação ou na vazão de água através da unidade ou na qualidade desta água, promovendo este acúmulo e sendo necessária a remoção periódica dos resíduos.

Figura 3.2 - Unidade de floculação da ETA Juquitiba – SP

- Sedimentação e flotação: a sedimentação que ocorre nos decantadores é o fenômeno físico em que as partículas suspensas formadas durante a floculação (flocos) apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica devido a ação da gravidade, indo depositar-se no fundo, formando o lodo. Já a flotação caracteriza-se pela ascensão das partículas suspensa pela aderência de bolhas de ar introduzidas no líquido, tornando-as de menor massa específica do que o meio onde se encontram. A sedimentação e a flotação das partículas suspensas propiciam a clarificação do meio líquido, ou seja, a separação das fases líquida e sólida.

Figura 3.3 - Unidade de decantação da ETA Jiquitiba – SP

- Filtração: pode ser lenta ou rápida. A filtração consiste na remoção das partículas suspensas e coloidais e dos microrganismos presentes na água que escoam através de um meio filtrante. O meio filtrante pode conter uma camada simples de areia ou uma camada dupla de areia e carvão antracito sobre uma camada suporte de pedregulho. Em geral, é o processo final de remoção de impurezas realizado numa ETA e, portanto, principal responsável pela produção de água com qualidade condizente com os padrões de potabilidade.

Figura 3.4 - Unidades de filtração da ETA Jiquitiba – SP

- Desinfecção: é um processo que se usa um agente químico, ou não químico, que tem por objetivo a eliminação de microrganismos patogênicos presentes na água, como, bactérias, protozoários e vírus, além de algas, através da ocorrência de

um ou mais mecanismos: destruição da estrutura celular, interferência no metabolismo com a inativação de enzimas e interferência na bio-síntese e no crescimento celular evitando a síntese de proteínas, ácidos nucleicos e co-enzimas.

A desinfecção é seletiva, isto é, não destrói todas as formas de vida e nem elimina todos organismos patogênicos. A destruição completa de toda a forma de vida é a esterilização. Dentre os agentes utilizados na desinfecção em geral têm-se os oxidantes cloro, bromo iodo ozônio, permanganato de potássio, peróxido de hidrogênio e os íons metálicos prata e cobre, e entre os agentes físicos destacam-se o calor e a radiação ultra-violeta.

- Para complementar o tratamento convencional pode ser adicionado outros produtos químicos à água, como cal, bicarbonato de sódio para o ajuste de pH, flúor, em teores recomendados pela OMS, para a proteção da cárie dentária (DI BERNARDO, 1993).

3.1.2- Resíduos gerados pela ETA

A geração de resíduos em ETA's convencionais são: água de lavagem dos filtros, lodo dos decantadores e floculadores e rejeitos de limpeza dos tanques de preparo dos produtos químicos.

Cada uma dessas linhas geradoras apresenta características distintas em termos de teor de sólidos, variando significativamente em função da qualidade da água bruta a ser tratada e do tipo e dosagem de produtos químicos utilizados. Além disso deve-se considerar que um manancial sofre variações sazonais nas características da água, o que provoca variações nas quantidades de produtos químicos utilizados, influenciando por sua vez, na qualidade e quantidade de resíduos gerados.

Os resíduos produzidos nas ETA's convencionais caracterizam-se por possuírem grande umidade, geralmente maior que 95%, estando sob a forma fluida. Em termos de volume, a maior quantidade de resíduos é proveniente da lavagem dos filtros e, em termos de massa de sólidos, as maiores quantidades são geradas nos decantadores. A sistemática de gestão de ETA's é bastante parecidas em todo o Brasil e particularmente em São Paulo, sendo geradas algumas toneladas de lodo de ETA diariamente que são dispostos no meio ambiente.

O lançamento dos resíduos de ETA nos curso d'água pode introduzir toxicidade dos organismos aquáticos e aumentar a degradação da qualidade das águas e sedimentos destes ambientes pois além de conter metais, como alumínio, ferro, manganês e outros, apresentam altas concentrações de sólidos, turbidez e DQO, fatores estes que podem causar a formação de bancos de lodo, assoreamento, alterações de cor, além de distúrbios na composição química e biológica do corpo receptor (CORDEIRO, 1993).

Água de lavagem de filtros é produzida em um grande volume e contém um baixo teor de sólidos, variando de 0,01 à 0,1 %, dependendo da eficiência dos filtros. Os filtros são lavados periodicamente e a fração de água utilizada para as lavagens é da ordem de 1 à 5% da água total tratada (REALI, 1999).

Figura 3.5 - Água de retro-lavagem dos filtros da ETA Juquitiba – SP

As características dos resíduos dependem do método e da periodicidade das lavagens e a sua composição qualitativa assemelha-se à do lodo do decantadores.

A matéria sólida das águas de lavagem é formada por flocos remanescentes da decantação, podendo conter hidróxidos de alumínio e ferro, óxidos de ferro manganês e magnésio, carbonatos de cálcio e ferro, sílica e partícula finas de argila, além disso, matéria orgânica pode estar presente na forma de algas, plânctons, etc.

O lodo dos decantadores é produzido devido à acumulação do produto da coagulação e da floculação pela separação dos sólidos do líquido. Em decantadores convencionais, o processo de remoção do lodo pode ser feito periodicamente ou de forma contínua. Quando não é utilizada a forma contínua, a periodicidade gira em torno de 15 dias à 2 ou 3 meses, sendo então feita a remoção em forma de bateladas. Esta situação dificulta o gerenciamento dos resíduos. No caso de remoção contínua que se dá mecânica ou hidráulicamente, é possível obter um maior controle do sistema de tratamento do resíduo evitando também a ocorrência de condições anaeróbias no lodo que ficaria depositado no fundo do decantador.

As características dos lodos gerados nos decantadores com sistemas de remoção em bateladas e de forma contínua são bastante distintas. Lodos descarregados continuamente apresentam teores de sólidos variando temporalmente da ordem de 0,1 à 2,5%. Os removidos em bateladas podem alcançar até 5% de teor de sólidos (REALI, 1999).

Os lodos gerados nos decantadores de uma ETA que utiliza sais metálicos (alumínio e ferro), contêm, essencialmente, as substâncias em suspensão na água bruta, como siltes, argilas e substâncias orgânicas, os hidróxidos metálicos, outros precipitados provenientes da coagulação e outros aditivos usados no tratamento tais como polieletrólitos, cal e carvão ativado. Assim como a variação da água bruta devido a sazonalidade o lodo apresenta um aumento da matéria orgânica e decréscimo do conteúdo mineral no período chuvoso e o inverso na estiagem.

Figura 3.6 - Descarga de lodo de ETA no corpo d'água

Normalmente os lodos são biologicamente inertes, com baixo teor de matéria orgânica biodegradável, porém podem conter também bactérias, vírus e algas removidos no processo de sedimentação.

A crescente necessidade de processar os lodos de ETA para a sua disposição final tem intensificado as investigações em relação as suas características físicas e químicas, características estas que afetam significativamente a habilidade de manusear, adensar, desidratar e transportar os lodos, bem como afetam as próprias opções de uso e disposição.

Os principais parâmetros físico-químicos utilizados para a caracterização dos lodos de ETA's são: tipo e concentração de sólidos (totais, voláteis, suspensos totais e suspensos voláteis), granulometria, densidade, resistência específica, pH, DBO, DQO, concentração dos principais íons metálicos de interesse (por exemplo: alumínio, ferro, manganês, cádmio, cobre, cromo, chumbo, mercúrio, níquel, zinco, etc.), concentração de fósforo total, nitrogênio total, além de índices bacteriológicos e biológicos de interesse sanitário, como coliformes totais e fecais.

A maior parte dos metais pesados presentes em lodos de ETA's são de impurezas contidas nos coagulantes. Desse modo, suas concentrações podem ser limitadas através do controle efetivo da qualidade dos coagulantes e de outros produtos químicos utilizados no tratamento de água (JANUARIO, 2005).

Produção de lodos: a quantidade de resíduos gerados em ETA's depende da qualidade da água bruta, do tipo e dosagem dos produtos químicos e do desempenho do processo de tratamento. Sua quantificação é de suma importância para o dimensionamento e operação tanto dos sistemas de adensamento e desidratação quanto das formas e uso e disposição.

A determinação da produção de lodo em sistemas de tratamento de água pode ser estimada com base em dois parâmetros: (1) a massa de sólidos secos presentes no lodo resultante e (2) o volume de água descartada que atua como veículo da massa de sólidos (REALI, 1999).

Figura 3.7 - Fluxograma simplificado das fases líquida e sólida de uma ETA

A quantidade de lodo gerada pode ser estimada “*in loco*”, pela determinação de sólidos provenientes das descargas dos decantadores e de suas vazões, ou ainda ser calculada matematicamente utilizando fórmulas teóricas. Em ambos os casos são convenientes o levantamento de dados da qualidade da água bruta (sólidos suspensos totais) e do consumo de produtos químicos durante um período de no mínimo um ano (FERREIRA FILHO e ALEM SOBRINHO, 1998).

Muitos pesquisadores desenvolveram formulações matemáticas distintas para fazer a estimativa da produção de sólidos secos. Para facilitar a utilização das fórmulas substituiu-se o parâmetro sólidos suspensos por turbidez, como demonstrado na Tabela 3.1, uma vez que os dados sólidos suspensos não estão normalmente disponíveis nas estações de tratamento de água.

Assumindo que o residual de alumínio e ferro sejam desprezíveis na água tratada, a produção de lodo para ambos coagulantes pode ser estimada através das seguintes expressões:

$$P_L = Q \cdot (4,89 \cdot D_{Al} + SS + CAP + OA) \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

$$P_L = Q \cdot (2,88 \cdot D_{Fe} + SS + CAP + OA) \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

onde:

P_L = produção de lodo seco em kg/dia,

Q = vazão de água bruta em m³/dia,

D_{Al} = dosagem de sais de alumínio, expresso como Al em mg/L,

D_{Fe} = dosagem de sais de ferro, expresso como Fe em mg/L,

SS = concentração de sólidos em suspensão totais na água bruta em mg/L,

CAP=concentração de carvão ativado em pó em mg/L,

OA=outros aditivos em mg/l (sílica ativada, polímeros, etc...).

Os coeficientes 4,89 e 2,88 presentes nas Equações (1) e (2) foram obtidos partindo-se do pressuposto de que todo o alumínio ou ferro adicionado na água bruta precipita-se como hidróxido metálico e que a cada molécula de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ou $\text{Al}(\text{OH})_3$ é incorporado cerca de três a quatro moléculas de água (FERREIRA FILHO e ALEM SOBRINHO, 1998).

Tabela 3.1 - Correlação entre os parâmetros SST e turbidez da água bruta

Turbidez (UNT)	SST (mg/l)
5	5
30	30

Fonte: Ferreira Filho, 2005

Este material produzido deve receber um tratamento e uma disposição final. Pode ser descartado definitivamente, por exemplo, em aterros ou podem ser utilizados como matéria prima para outras atividades, como as de produção de materiais cerâmicos.

Como a maior parte das ETA's no Brasil não possui nenhum tipo de tratamento da fase sólida e, como para atender as legislações vigentes necessita de soluções, uma das opções, que normalmente é a mais econômica e rápida no que diz respeito à implantação, é o lançamento na rede coletora de esgotos para caminhamento até a ETE, uma vez que estas têm como tradição o tratamento também da fase sólida.

3.2- Estação de tratamento de esgotos pelo processo de lodo ativado em bateladas com aeração prolongada

3.2.1- Considerações sobre lodo ativado

A principal meta da Engenharia Sanitária é a proteção da saúde pública. No que tange o tratamento dos esgotos é necessário o conhecimento dos seus constituintes e o impacto que eles causam quando dispersos no meio ambiente (METCALF & EDDY, 2003).

O processo de lodo ativado é atualmente muito utilizado no tratamento de efluentes municipais e industriais. Os primeiros dados do processo de lodo ativado datam de meados de 1880 num trabalho do Dr. Angus Smith, quando investigava a aeração dos esgotos em tanques acelerando a oxidação da matéria orgânica. A aeração dos esgotos foi estudada subsequente por uma série de pesquisadores e, em 1910, Black e Phelps relataram que uma considerável redução no apodrecimento do esgoto poderia ser obtida com a introdução de ar no tanque desse material. Após alguns estudos nos Estados Unidos e na Inglaterra, Arden e Lockett perceberam que o lodo aerado teve um papel importante nos resultados obtidos devido a remoção de matéria orgânica do líquido, como mostrado no seu artigo de 3 de maio de 1914 (Arden and Lockett, 1914). O processo foi denominado de lodo ativado por Arden e Lockett devido a capacidade de uma massa de lodo aerada estabilizar o material orgânico dos esgotos (METCALF & EDDY, 1930, apud METCALF & EDDY, 2003).

Por definição o processo de lodo ativado consiste dos três componentes básicos seguintes: 1) um reator no qual os microrganismos responsáveis pelo tratamento são mantidos em suspensão e aerados; 2) a separação dos sólidos do líquido se dá num tanque de sedimentação; e 3) um sistema de reciclo de sólidos para recuperar os sólidos removidos pela unidade de separação de sólidos-líquido e seu retorno ao reator. Uma importante característica do processo de lodo ativado é a formação de sólidos floculentos sedimentáveis, que podem ser removidos por ação da gravidade em tanques de sedimentação (METCALF & EDDY, 2003).

Como os microrganismos são mantidos no sistema através de seu reciclo por mais tempo do que o líquido, foi determinada uma unidade de medida que permite

estabelecer a relação entre a quantidade de esgotos que deve ser tratada e a quantidade de microrganismo necessária para tal, a “idade do lodo”.

A idade do lodo tem como definição a quantidade de lodo existente dentro de um reator biológico, em mg/L, e a quantidade de lodo produzida diariamente devido o aporte de material orgânico no reator, em mg/L.dia, ou ainda, a quantidade de lodo existente no reator, em mg/L, dividido pela quantidade de lodo retirada diariamente do sistema, em mg/L.dia. A unidade de idade do lodo é então “dias”. O lodo retirado do reator para o controle da idade do lodo é chamado de “lodo de excesso”, este é o resíduo da estação de tratamento de esgotos por lodo ativado e deve sofrer tratamento e disposição adequado.

Existem algumas variações no processo de lodo ativado devido à diferentes aspectos, como apresentado a seguir:

a- devido ao tempo de permanência do lodo biológico (idade do lodo) no sistema: (1) aeração modificada (inferior a 3 dias); (2) convencional (3 à 10 dias) e (3) aeração prolongada (17 à 30 dias),

b- devido ao tipo de fluxo do afluente do reator biológico: (1) fluxo contínuo e (2) fluxo intermitente (em bateladas) e

c- devido às características qualitativas do afluente do reator biológico: (1) esgoto bruto; (2) efluente de decantador primário; (3) efluente de reator anaeróbio e (4) efluente de outro processo de tratamento de esgotos.

Os sistemas mais comumente utilizados são o sistema de lodos ativado convencional para tratar efluentes de decantador primário e o de lodo ativado com aeração prolongada para tratar esgoto bruto. Alguns fatores como a qualidade e a quantidade do esgoto bruto são determinantes na escolha do sistema a ser utilizado.

Estão apresentados nas Figuras 3.8 e 3.9, esquematicamente, os sistemas de lodo ativado com abastecimento contínuo de esgoto bruto e de lodo ativado com abastecimento em forma de bateladas de esgoto bruto no reator biológico, respectivamente.

Para o sistema de fluxo contínuo nota-se que deve existir dois tanques separados para que as etapas de reação e decantação possam ocorrer ininterruptamente.

Figura 3.8 - Esquema simplificado do sistema de lodo ativado de fluxo contínuo

Já no sistema de fluxo intermitente dos esgotos no reator biológico, por batelada, as atividades de reação e decantação ocorrem num único reator, sendo necessário para isso um maior controle operacional.

Figura 3.9 - Esquema simplificado do sistema de lodos ativados em bateladas

Um grande número de configurações de processo de lodo ativado tem sido desenvolvido com suas devidas finalidades, como: (1) atendimento de diferentes requisitos de tratamento; (2) desenvolvimento e uso de tecnologias de controle e automação diferentes; (3) aumento do conhecimento do processo biológico e seus fundamentos e (4) a constante necessidade de redução de custos de implantação e operação.

No caso de lodo ativado com aeração prolongada, a biomassa é mantida no sistema entre 17 e 30 dias (daí o nome aeração prolongada). Naturalmente há uma maior quantidade de microorganismos no reator em relação ao sistema convencional (idade do lodo de 3 à 10 dias). O volume do reator biológico também é maior num

sistema com aeração prolongada se comparado com um sistema de fluxo contínuo que tratam a mesma quantidade de afluentes. Por isso para uma mesma quantidade de matéria orgânica (esgoto) aplicada diariamente no sistema com aeração prolongada apresenta uma menor relação entre a matéria orgânica e o volume do reator, ou por unidade de biomassa do reator, denominada relação alimento / microrganismo.

Em decorrência da menor relação alimento / microrganismo, as bactérias, para sobreviver passam a utilizar de maneira mais intensa nos seus processos metabólicos a própria matéria orgânica biodegradável componente das suas células. Esta matéria orgânica celular é convertida em gás carbônico, água e resíduo inerte. Por se tratar do consumo de material intra-celular, à esta atividade denomina-se respiração endógena. Isto corresponde a uma estabilização da biomassa ocorrendo no próprio tanque de aeração.

Enquanto no sistema com aeração prolongada a estabilização da biomassa é feita conjuntamente com o tratamento da fase líquida de maneira aerada no próprio reator biológico, no sistema convencional a estabilização do lodo é feita em tanques separados, chamado de tratamento da fase sólida, normalmente utilizando-se de ambientes anaeróbios. Para a estabilização da biomassa de maneira aerada existe um consumo de oxigênio adicional e isto pode ser considerado significativo para a decisão da escolha do tipo de processo.

Já que não há a necessidade de estabilização do lodo biológico de excesso no sistema com aeração prolongada, procura-se também não gerar nenhuma outra forma de lodo que venha requerer posterior estabilização, por exemplo o lodo de decantador primário. Com isso obtém-se uma grande simplificação no fluxograma do processo, não há decantadores primários nem unidades de digestão de lodo. A consequência desta simplificação do sistema é o gasto de energia para aeração do lodo que é estabilizado no tanque de aeração. Por outro lado a reduzida disponibilidade de alimento e a sua praticamente total assimilação fazem com que a variante do processo de lodo ativado com aeração prolongada seja a mais eficiente na remoção de DBO (VON SPERLING, 2002).

É muito usual a utilização de lodo ativado com aeração prolongada para reatores em bateladas. Mesmo que a chegada de esgoto bruto se dê de forma contínua numa estação de tratamento é possível com dois ou mais reatores utilizar esta alternativa, desde que seja economicamente viável. Todos sistemas de lodo

ativado por bateladas têm cinco passos em comum, os quais são conduzidos em seqüência como listado a seguir: (1) enchimento; (2) reação; (3) sedimentação; (4) retirada de efluente tratado e (5) espera ou ajuste. Cada um desses passos acontece em um único reator e estão ilustrados na Figura 3.9.

A etapa de enchimento é aonde acontece a adição de matéria orgânica, ou substrato (esgoto bruto por exemplo) ao reator. Esta adição pode ser controlada por volume ou por tempo de enchimento. Se o controle se der por volume a etapa de enchimento permite que o nível do líquido no reator seja elevado a sua capacidade máxima em todas as bateladas, se o controle se der por tempo é necessário conhecer a variação de vazão do afluente do reator ao longo do dia para calcular o tempo de enchimento em função dos volumes desejados. Um avanço no sistema de bateladas com controle de enchimento por tempo é a possibilidade de alterar as condições do reator durante esta etapa para alcançar metas de tratamento, por exemplo: enchimento com aeração, enchimento com mistura lenta promovendo condição anóxica, entre outras.

Na etapa de reação a biomassa é ativada com a introdução de oxigênio e agitação e consome a matéria orgânica em condições controladas como o próprio tempo de reação, a quantidade de oxigênio dissolvido, etc.

Na etapa de sedimentação os sólidos são separados do líquido sob condições estanques, ou seja, sem a interferência de fluxo de entrada e de saída de líquidos no reator. A etapa de sedimentação é controlada por tempo e é fixada de modo que a manta de lodo sedimente o suficiente para promover a retirada do sobrenadante com segurança.

A retirada de efluente tratado é feita através de calhas vertedoras flutuantes ou mecanismos que permitam sempre a retirada do sobrenadante pela sua superfície.

A etapa de espera é a que permite que as variações de vazões ao longo do dia não prejudiquem o ciclo de operação quando se trata de dois ou mais reatores, pois na etapa anterior, a de retirada de efluente tratado, o volume removido do reator é sempre o mesmo daquele que entrou na etapa de enchimento. Normalmente fixa-se a soma dos tempos das etapas de retirada de efluente tratado e de espera, assim quanto maior um dos dois tempos, menor o outro e vice-versa.

O sistema por bateladas com apenas um reator é utilizado apenas por alguns segmentos de indústrias que geram seus efluentes com programação, ou por

pequenas comunidades que têm suas vazões noturnas tendendo a zero e vazões diurnas pequenas, sendo possível armazenar os afluentes em pequenos tanques de equalização seguidamente promover tratamento.

Algumas vantagens do sistema de lodos ativados por bateladas são: (1) os reatores são tanques de equalização do esgoto bruto com a biomassa durante a etapa de enchimento, permitindo assim, uma maior tolerância a grandes variações do fluxo e de cargas de choque minimizando prejuízos do efluente final; (2) como a retirada de efluente final é periódica é possível, dentro de alguns limites, conter o efluente até atingir alguns requisitos de tratamento específicos; (3) durante o início de plano quando as vazões ainda são pequenas é possível usar uma fração do tanque de modo a manter as características de operação desejada; (4) os sólidos do licor misto não podem ser lavados do sistema devido o surgimento de grandes cargas hidráulicas, uma vez que podem ser mantidos no sistema o tempo desejado; (5) não necessita de sistema de retorno de lodo; (6) a separação sólidos-líquido acontece em condições estanques; (7) a proliferação de microrganismos filamentosos pode ser controlada pela variação da estratégia de operação durante o enchimento; (8) este sistema pode ser operado estrategicamente para atingir a nitrificação e a desnitrificação e ainda, a remoção de fósforo com ou sem a adição de produtos químicos e (9) tem sido relatado que o RNA contido nos microrganismos de sistemas em bateladas são 3 a 4 vezes maiores que os encontrados nos sistemas do fluxo contínuo. Visto que a taxa de crescimento dos microrganismos é conhecida e depende do RNA contido nas células, notou-se que culturas de microrganismos dos sistemas por bateladas processam uma quantidade maior de substrato promovendo assim um crescimento celular que as culturas dos microrganismos de sistemas de fluxo contínuo (EPA, 1986).

Existem também algumas desvantagens desse tipo de sistema como: (1) um alto nível de sofisticação requerido para seu controle como a automação, válvulas pneumáticas ou eletrônicas, etc; (2) uma operação mais especializada devido os equipamentos instalados; (3) um desgaste excessivo do sistema de aeração devido a ação de liga/desliga ao longo dos ciclos.

3.2.2- Características do esgoto

Os esgotos oriundos de uma cidade e que contribuem à estação de tratamento de esgotos são basicamente originados de três fontes distintas: (1) esgotos domésticos (incluindo residências, instituições e comércio), (2) águas de infiltração e (3) despejos industriais.

Os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água, a fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos. Portanto é devido a essa fração de 0,1% que há a necessidade de se tratar os esgotos.

A característica dos esgotos é função dos usos à qual a água foi submetida. Esses usos e a forma com que são exercidos variam com o clima, a situação social e econômica e hábitos da população (VON SPERLING, 1996).

Tabela 3.2 – Exemplo de valores típicos para parâmetros da caracterização de esgotos domésticos (mg/L).

Parâmetro	Esgotos forte	Esgoto Médio	Esgoto Fraco
DBO _{5,20}	400	200	100
DQO	800	400	200
SST	360	230	120
SSV	280	175	90
NKT	85	40	20
N-NH ₄ ⁻	50	20	10
N-NO ₃ ⁻	0,40	0,20	0,10
Fósforo total	20	10	5
Fósforo solúvel	13	6	3

Fonte: Adaptado de JORDÃO e PESSOA, 2005.

As características físicas dos esgotos podem ser interpretadas pela obtenção das grandezas correspondentes as determinações de materiais sólidos, temperatura, odor, cor e turbidez. As características químicas podem ser classificadas em dois grandes grupos: o grupo da matéria orgânica e o grupo da matéria inorgânica. O grupo de material orgânico nos esgotos é principalmente constituído por: proteínas (40 à 60%), carboidratos (25 à 50%), gordura e óleos (10%) e uréia, surfactantes, fenóis, pesticidas, etc. O grupo de material inorgânico nos esgotos é formado

principalmente por areia e substâncias minerais dissolvidas (JORDÃO, PESSOA, 2005).

Alguns parâmetros típicos dos esgotos no Brasil estão apresentados na Tabela 3.2 conforme descreveu Jordão e Pessoa, 2005. Porém é importante ressaltar que existe uma variação nas concentrações dos parâmetros do esgoto ao longo do ano. As variações são principalmente devido às variações das vazões dos esgotos nas redes coletoras provocadas pelas contribuições de águas de chuva, seja por infiltração seja por lançamento direto destas águas na rede de esgotos (prática muito comum no Brasil devido a ausência de fiscalização de obras).

Tabela 3.3 – Exemplo de valores típicos para parâmetros da caracterização de esgotos domésticos (mg/L).

Mês	DBO (mg/L)	SST (mg/L)
Janeiro	131	137
Fevereiro	183	188
Março	150	172
Abril	133	149
Maio	174	241
Junho	139	152
Julho	268	377
Agosto	223	199
Setembro	358	287
Outubro	351	383
Novembro	227	202
Dezembro	178	208

Fonte: Adaptado de JORDÃO e PESSOA, 2005.

Os compostos de nitrogênio e fósforo nos esgotos sanitários merecem uma atenção a parte. São denominados nutrientes os quais de importante conhecimento tanto para o processo de tratamento biológico dos esgotos quanto para o seu lançamento no corpo receptor.

Os nutrientes são necessários para tratamento biológico para o crescimento bacteriano. Portanto é necessário que estes estejam presentes nos esgotos. Nos esgotos domésticos tal condição é geralmente satisfeita, enquanto que nos efluentes industriais não, conduzindo a que a biomassa não desenvolva com desejado.

Os esgotos sanitários apresentam normalmente de 20 à 85 mg-N/L das quais 8 à 35 mg-N/L são de nitrogênio orgânico e 12 à 50 mg-N/L são de nitrogênio amoniacal. Os esgotos mais recentes (frescos) são praticamente desprovidos de nitrito e nitrato, que podem resultar de transformações bioquímicas já na rede coletora de esgotos.

O fósforo aparece em águas naturais principalmente devido às descargas de esgotos sanitários. Nestes os detergentes superfosfatados empregados em larga escala domesticamente constituem a principal fonte (15,5% de P_2O_5), além da própria matéria fecal que é rica em proteínas.

No Brasil, os esgotos sanitários apresentam concentrações de fósforo normalmente na faixa de 6 à 10 mg-P/L. Nos Estados Unidos a concentração atinge a 15 mg-P/L, devido ao uso bastante difundido de detergentes domésticos. Aqui, o uso de detergentes é limitado pela condição econômica da população (PIVELI, 2005).

3.2.3- Microrganismos no processo de lodo ativado

Em sistemas de lodo ativado, embora o meio ambiente seja aquático os organismos presentes não são necessariamente o mesmo de ambientes naturais de águas doces. Isso porque o processo apresenta características específicas, como turbulência por causa da aeração, e turbidez, devido ao material em suspensão.

Apenas a microfauna é encontrada nesses processos, pois a turbulência não permite o desenvolvimento de organismos maiores. A turbidez do meio provoca a ausência de luz, evitando o desenvolvimento de algas. Entre a microbiota normalmente são encontrados vários tipos de bactérias, entre elas as filamentosas, formando a biomassa e, às vezes, fungos e leveduras. As bactérias são organismos sapróbicos, consumidores primários que degradam a matéria orgânica do despejo, promovendo sua estabilização.

A presença da biofauna é um grande indício do funcionamento do processo e como um observador experiente pode identificá-la com certa facilidade, é utilizada como indicador biológico. A observação qualitativa e quantitativa da microfauna é realizada no controle do processo de lodo ativado.

O aspecto do lodo ao microscópico em geral pode ser descrito da seguinte forma: as bactérias se agregam formando flocos biológicos, que também congregam

bactérias filamentosas. Na superfície desses flocos fixam-se os protozoários sésseis, ciliados pedunculados ou peritríquias. Há protozoários que vivem em estreita ligação com os flocos, alimentando-se desses e mantendo-se sempre em torno deles, sem estar porém fisicamente à eles ligados (ciliados hipotríquias) Por último existem os ciliados livres nadantes que se movem nos espaços entre os flocos, os flagelados e as amebas. Os micrometazoários (rotíferos e pequenos vermes) também se locomovem, no geral nos espaços entre os flocos.

A natureza da microfauna presente é característica da idade do lodo. É também característica da saprocidade, nível de qualidade da água refletido pelas espécies que constituem a comunidade presente, de acordo com a matéria orgânica biodegradável, expressa em DBO. Assim uma determinada comunidade é determinada indicadora do nível saprobico de um determinado meio.

Outro fator importante à se considerar é a avaliação da concentração de bactérias filamentosas. Elas encontram-se quase sempre presentes nos flocos bacterianos, orem sua quantidade em relação aos flocos deve ser limitada a um certo ponto para que não ocorram problemas na sedimentação do lodo como o intumescimento filamentoso.

A microfauna é indicadora do conjunto de parâmetros de funcionamento do processo de lodo ativado, ima vez que sua natureza varia com o nível de depuração, co a concentração de oxigênio dissolvido, com a presença de substancias tóxicas, etc, dentro do tanque de aeração (VAZOLLER, 1989).

3.2.4- Remoção da matéria orgânica

A concentração e a composição do material orgânico das águas residuárias depende da natureza destas. Para o modelamento da remoção do material orgânico do processo de lodo ativado, torna-se necessário dividir a matéria orgânica (ex: DQO) afluyente em diferentes frações, analisando-se o comportamento de cada fração individualmente.

Primeiramente divide-se a matéria orgânica afluyente em material biodegradável e material não biodegradável, sendo que o primeiro pode ser metabolizado pelos microrganismos do lodo ativado, enquanto o segundo não é afetado pela ação bioquímica destes. Para uma descrição mais afinada do comportamento do lodo ativado torna-se necessário subdividir as frações

biodegradável e não biodegradável do afluente. Esta subdivisão leva em consideração o tamanho físico do material biodegradável.

Na maioria das águas residuárias as partículas de material orgânico variam em tamanho, tendo-se parte do material na forma de uma solução verdadeira com moléculas relativamente pequenas, outra parte com moléculas que formam uma solução coloidal e uma terceira parte com partículas macroscópicas, formando uma suspensão. Com relação entre a interação do material orgânico e os flocos biológicos do sistema de lodo ativado, considera-se uma subdivisão entre o material dissolvido e o material particulado (coloidal e material em suspensão).

A razão dessa subdivisão é que os flocos de lodo ativado agem como um forte coagulante, resultando na remoção do material particulado pelo processo físico de coagulação e floculação: os flocos de lodo capturam as partículas e estas passam a fazer parte da fase sólida (o lodo ativado). Essa remoção física se dará independentemente do fato do material orgânico ser biodegradável ou não.

O exposto leva à conclusão que o comportamento do material não biodegradável e dissolvido será diferente daquele do material não biodegradável particulado, o primeiro não será afetado pelo lodo no sistema e será descarregado com o efluente e o segundo será floculado e acumulado no sistema de lodo ativado até a sua descarga com o lodo de excesso.

Figura 3.10 – Representação das quatro frações do material orgânico e seus destinos no processo de lodo ativado (Fonte: adaptado de Metcalf & Eddy, 2003)

No caso do material biodegradável existe também uma diferença entre a fração dissolvida e a fração particulada. O pequeno tamanho das moléculas do material dissolvido permite a penetração pela parede celular das bactérias e o seu metabolismo direto. Em contraste o metabolismo do material particulado somente é possível após vários processos que incluem a floculação, adsorção à superfície dos microrganismos, hidrólise do material adsorvido com a conseqüente solubilização do material particulado e, finalmente, a utilização do material solubilizado. Conclui-se que a remoção física do material biodegradável das águas residuárias no sistema de lodo ativado seja realizada rapidamente, mas, no caso do material particulado, o metabolismo não será imediato. Dessa maneira distingue-se material rapidamente biodegradável (dissolvido) e material lentamente biodegradável (particulado) como ilustrado na Figura 3.10 (VAN HAANDEL, 1999).

Parta descrever o comportamento do sistema de lodo ativado, Marais e Ekama (1976) sugeriram uma subdivisão dos sólidos orgânicos do lodo ativado em duas frações básicas: (1) lodo ativo, composto de microrganismo atuantes no metabolismo de material orgânico e (2) lodo inativo composto de material orgânico em suspensão e que não exerce atividade metabólica. Trata-se de uma divisão teórica. O lodo ativo é gerado a partir da síntese de material orgânico do afluente (novos microrganismos). O lodo inativo compõe-se de material orgânico não biodegradável e pela sua origem pode ser dividido em duas frações: (a) o lodo inerte, que é gerado a partir do material orgânico do afluente particulado e não biodegradável, e (b) o resíduo endógeno, que se origina do decaimento do lodo ativo, (morte celular).

Quando um sistema de lodo ativado recebe uma carga constante de material orgânico, então neste sistema estabelece-se um regime estacionário. Como no regime estacionário não haverá acúmulo de material orgânico afluente, este será descarregado no efluente ou transformado em outros produtos. Quanto à transformação de material orgânico afluente tem-se basicamente duas possibilidades: (1) transformação em lodo orgânico através de processo bioquímico e físico e (2) oxidação para produtos inorgânicos.

O fluxo de material orgânico oxidado pode ser determinado através do consumo de oxigênio dissolvido pelo licor misto. Por definição tem-se que 1 Kg de DQO é oxidado por 1 Kg de O_2 . Portanto o fluxo de material orgânico oxidado será sempre numericamente igual ao fluxo de oxigênio consumido por essa oxidação. O

fluxo do O_2 consumido é igual ao produto do volume do reator pela taxa de consumo de oxigênio (TCO), sendo esta igual ao consumo de oxigênio por unidade de tempo por unidade de volume e é um parâmetro que pode ser medido experimentalmente.

Figura 3.11 – Fluxograma esquemático da matéria orgânica em um sistema de lodo ativado

O metabolismo é resultante da incorporação de parte do material biodegradável para o crescimento celular (anabolismo) e da oxidação da outra parte do material biodegradável, ou respiração celular (anabolismo).

Postula-se ainda que haja o decaimento do lodo ativo independentemente dos processos metabólicos. O lodo ativo consome oxigênio para a sua própria oxidação, na ausência de matéria orgânica extracelular, chamado de decaimento celular e este consumo de oxigênio é chamado de respiração endógena (VAN HAANDEL, 1999).

O sistema de lodo ativado tem como parâmetro operacional mais importante a idade do lodo, que é a razão entre a quantidade de lodo existente no reator biológico e quantidade de lodo que cresce neste reator devido ao aporte de matéria orgânica por dia, ou ainda, considerando um sistema uniforme, é razão entre a quantidade de lodo existente no reator biológico e a quantidade de lodo retirada deste reator por dia através do descarte de lodo de excesso. Para apenas a remoção de matéria orgânica a idade do lodo deve estar na faixa de 3 à 5 dias, porém com temperaturas do licor misto entre 18 e 25°C, atinge-se esta meta com 3 dias de idade do lodo, com um pequeno acréscimo na idade do lodo nesta última condição iniciar-se-á o processo de nitrificação no reator, consumindo para isso oxigênio. Em sistemas com aeração prolongada a nitrificação é inevitável (METCALF & EDDY, 2003).

Além do material orgânico o lodo volátil compõe de vários elementos, entre os quais o nitrogênio e o fósforo são os mais importantes. Os teores destes elementos no lodo orgânico não são constantes, mas pode-se dizer que varia em torno de 10 por cento para o nitrogênio e 2,5 por cento para o fósforo. No entanto existem variações na qualidade do esgoto afluente e nos processo de lodo ativado, para o fósforo por exemplo pode atingir teores de até 38 por cento da massa do lodo orgânico (VAN HAANDEL, 1999).

Para a produção de lodo de excesso é necessário que na água residuária haja uma concentração mínima desses nutrientes de tal modo que se possa formar o lodo com teor de N e P de 10 e 2,5 por cento, respectivamente. No caso de águas residuárias domésticas as concentrações de nitrogênio e fósforo sempre são bem superiores que às mínimas necessárias para a produção de um lodo adequado. Tem-se encontrado na literatura a relação DBO : N : P de 100 : 5 : 1, para sistemas de lodo ativado convencional e 100 : 2,5 : 0,5 para lodo ativado com aeração prolongada (VON SPERLING, 1997)

Outra relação importante para o controle operacional de um sistema de lodo ativado e a relação alimento / microrganismo (A/M), também chamado de fator de carga do lodo. Trata-se da relação entre a massa de matéria orgânica aplicada à uma massa de microrganismos por dia, podendo ser medida em Kg DQO / Kg SSVTA x dia. Assim pode-se dizer que quanto maior a carga de substrato fornecido para uma determinada massa de microrganismos, menor será a eficiência na assimilação desse substrato. Inversamente, quanto menos alimento fornecido aos microrganismos, maior será a avidéz pelo alimento, implicando numa maior eficiência da remoção de matéria orgânica. Na situação em que a quantidade do alimento é bem baixa passa a prevalecer o mecanismo d respiração endógena, característicos dos sistemas de aeração prolongada.

3.2.5- Sedimentação do lodo

Devido à alta concentração de sólidos em suspensão no lodo ativado a sua sedimentação em unidades decantadoras é de uma natureza completamente diferente daquela de suspensões mais diluídas (por exemplo o esgoto bruto em decantadores primários). Nas suspensões diluídas a interação entre as partículas que sedimentam é fraca e a velocidade de cada uma dependem das duas forças

que agem sobre elas: (1) gravitacional devido ao seu peso aparente e (2) friccional devido à viscosidade da fase líquida. Em contraste nas suspensões mais concentradas como no licor misto, forma-se uma matriz de flocos interligados e essas sedimentam todas com a mesma velocidade: a velocidade de sedimentação em zona.

A etapa de sedimentação é fundamental para o processo de lodo ativado, geralmente é a última etapa do sistema de tratamento da fase líquida e esta etapa dita a qualidade do efluente final em termos de sólidos em suspensão, DBO e mesmo nutrientes. Os decantadores finais em um sistema de lodo ativado desempenham simultaneamente dois papéis: (1) a clarificação do efluente líquido que é resultado da separação da fase sólida da fase líquida do licor misto e (2) o adensamento da fase sólida na unidade decantadora que é o aumento da concentração dos sólidos em suspensão durante a etapa de decantação. Dependendo das características de sedimentabilidade do lodo, uma ou outra função limita a taxa máxima de sólidos que pode ser aplicada que, por sua vez, determina a área mínima necessária do decantador e, conseqüentemente, o seu volume.

Catunda et al (1989) realizaram uma investigação experimental para avaliar a influencia da concentração e composição de lodo ativado gerado a partir de esgoto municipal bruto sobre as constantes ligadas a sedimentabilidade de lodo. Entre as conclusões obtidas, ressalta-se que a concentração e a composição do lodo tem uma influência sobre as constantes de sedimentabilidade. A influência da concentração sobre as constantes é relativamente pequena, mas a composição do lodo influi marcadamente: um lodo com uma composição alta de lodo ativo tem um valor alto de $IVLA_{3,5}$ (índice volumétrico do lodo agitado à uma concentração de sólidos em suspensão de 3,5 g/L) e conseqüentemente um valor alto de K e baixo de v_0 (K e v_0 são constantes de sedimentação em zona) ou seja quanto mais alta a fração de lodo ativo pior a sedimentabilidade do lodo (VAN HAANDEL, 1999).

3.2.6- Tratamento e disposição final da fase sólida

O gerenciamento do lodo de esgoto proveniente de estações de tratamento é uma atividade de grande complexidade e alto custo que, se for mal executada pode comprometer os benefícios ambientais e sanitários esperados destes sistemas. A importância desta prática foi reconhecida pela Agenda 21 que incluiu o tema

“Manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com os esgotos”, definindo as seguintes orientações para a sua gestão: a redução da produção, o aumento máximo da reutilização e da reciclagem e a promoção de depósitos e tratamento ambientalmente saudáveis.

Os principais tipos de resíduos sólidos gerados (lodo) no tratamento dos esgotos são: (1) o material gradeado, (2) areia, (3) espuma, (4) lodo primário, (5) lodo secundário e (6) lodo químico (caso haja etapa físico-química). O tratamento destes resíduos é uma etapa essencial no tratamento dos esgotos. Ainda que o lodo possa na maior parte das etapas do seu manuseio ser constituídos de mais de 95% de água, apenas por convenção é designado por “fase sólida”. A Tabela 3.4 contém as faixas de densidade do lodo de sistemas de lodo ativado.

Tabela 3.4 – Faixas de SV/ST, % de sólidos e densidade dos sólidos do lodo

Tipo de lodo	Relação SV/ST	% de sólidos secos	Densidade dos sólidos
Lodo primário	0,75 – 0,80	2 – 6	1,14 – 1,18
Lodo secundário aeróbio (LA conv.)	0,75 – 0,80	0,6 – 1,0	1,14 – 1,18
Lodo secundário aeróbio (aer. prol.)	0,65 – 0,70	0,8 - 1,2	1,22 – 1,27

Fonte: Adaptado de ANDREOLI, 2001.

O lodo de esgoto em seu estado natural é muito rico em organismos patogênicos, facilmente putrecível e rapidamente desenvolve odores ofensivos. O tratamento pode ser dividido em estabilização, desidratação e higienização (ANDREOLI, 2001).

A estabilização do lodo tem o objetivo de estabilizar a fração biodegradável da matéria orgânica presente no lodo, reduzindo o risco de putrefação, bem como diminuir a concentração de patógenos e pode ser realizada das seguintes maneiras: (1) estabilização biológica, (2) estabilização química e (3) estabilização térmica. No caso da estabilização biológica ainda é possível que seja realizada de maneira aeróbia, a digestão aeróbia, e de maneira anaeróbia, a digestão anaeróbia (LUDUVICE apud ANDREOLI, 2001).

A remoção de umidade é uma operação unitária fundamental para a redução de massa e de volume do lodo em excesso à ser tratado ou descartado da estação de tratamento de esgotos. No fluxo do lodo em uma ETE pode haver as seguintes etapas de remoção da umidade do lodo: (1) adensamento u espessamento e (2)

desaguamento ou desidratação. O adensamento é mais comumente utilizado nos processos de tratamento primário, lodo ativado e filtro biológico percolador, o desaguamento é realizado com lodos já digeridos (GONÇALVES apud ANDREOLI, 2001).

A higienização do lodo de estação de tratamento de esgotos busca reduzir a patogenicidade do lodo à níveis que não venham causar riscos à saúde da população de acordo com as exigências para cada tipo de utilização do lodo. É importante salientar que o processo não é uma desinfecção, uma vez que não são desativados todos microrganismos patogênicos presentes no lodo. Os níveis de patogenicidade do lodo podem ser substancialmente reduzidos através dos processos de estabilização, como a digestão anaeróbia ou aeróbia, entretanto muitos parasitas intestinais e principalmente seus ovos são muito pouco afetados por processos de digestão convencional, necessitando uma etapa complementar ou conjugada aos processos convencionais para a sua completa inativação. Os mecanismos de higienização podem ser: (1) térmica, como compostagem, (2) química, como a calefação, (3) biológica, como a vermicultura e (4) a radiação (PINTO apud ANDREOLI, 2001).

O destino final do lodo gerado nas estações de tratamento de esgoto envolve estudos e decisões relativos ao acondicionamento e estabilização do lodo gerado, grau de desidratação, formas de transporte, eventual reuso no solo, eventuais impactos e riscos ambientais e aspectos econômicos desta destinação final. Entre as formas de disposição final do lodo de ETE's pode-se relacionar: (1) aterros sanitários, (2) incineração, (3) usos agrícolas, (4) uso industrial e (5) lançamento no oceano. Estas opções admitem soluções individualizadas ou combinadas de acordo com as características próprias da região em que se localizam as estações de tratamento de esgotos (JORDÃO E PESSOA, 2005).

3.3- Lançamento do lodo de ETA na ETE

A indústria da água transforma a água inadequada para o consumo humano em um produto que esteja de acordo com os padrões de potabilidade, utilizando para isso processos e operações com a introdução de produtos químicos e gerando resíduos. Aquela mesma indústria tem questionado a preservação da qualidade da água bruta captada, através de ações que lhe garanta a proteção dos mananciais, por outro lado lança seus resíduos nos corpos d'água sem se preocupar com seus questionamentos levantados anteriormente. Porém ela também deve ter a preocupação da preservação para garantir a sustentabilidade de sua atividade.

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2002), através do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, realizado em 2002, no Brasil, cerca de 75,3% do total de municípios (5.561 municípios) e 94,3% da população urbana nacional dispõe de serviços de água. Em termos de serviços de esgotos, esses percentuais são de 17,4% e 71,0%, respectivamente, como ilustrado na Figura 3.12.

Figura 3.12 – Situação do saneamento no Brasil (Fonte: adaptado de SNIS, 2002)

O setor de saneamento, além representar importância fundamental à saúde pública, representa uma parcela significativa da economia brasileira. A indústria da água gera na ordem de 160 mil empregos diretos e indiretos, receitas e investimentos (SNIS, 2002).

Existem cerca de 7.500 estações de tratamento de águas convencionais no Brasil, destas quando utilizam o tratamento convencional (coagulação, floculação, sedimentação e filtração), geram resíduos originários da lavagem dos floculadores, dos decantadores, dos filtros e na lavagem dos tanques de preparação de soluções de produtos químicos. Estes resíduos têm sido geralmente dispostos próximos às estações, em cursos d'água, sem nenhum tratamento. Mas, este procedimento tem sido questionado, principalmente, devido a possíveis riscos à saúde pública e à vida aquática. Além disso, de acordo com a norma NBR - 10.004, estes lodos são classificados como resíduos sólidos exigindo manuseio e destinação adequados conforme exigências dos órgãos reguladores. O lançamento direto dos lodos nos cursos d'água infringe os dispositivos legais, tais como: a Lei Federal de Crimes Ambientais nº 9605/98; no Estado de São Paulo a Lei 997/76, e seu regulamento Decreto 8.468/76; a resolução CONAMA 357/2005 e a Constituição Federal, 1989.

A visão existente nas gerências de sistemas de tratamento tem sido restrita ao produto final, não havendo maior preocupação com medidas como: proteção efetiva dos mananciais; qualidade dos produtos químicos empregados e quantidade e características dos resíduos gerados (PARSEKIAN, 1998).

Existem diferentes soluções técnicas para o tratamento e disposição do lodo de ETA como: condicionamento, adensamento e desidratação, aterro especial; utilização em solos; compostagem; utilização em pavimentação; fabricação de cimentos; fabricação de cerâmicas; lançamento em sistemas de esgotos entre outras. Muitas destas apresentam altos custos de transporte e de ampliação de instalações. Quando existe em um município uma planta dos sistemas de tratamento de água e de coleta e tratamento de esgotos favoráveis ao lançamento daqueles resíduos nos sistemas de esgotos, tem-se uma alternativa previamente mais econômica. Previamente porque os resultados finais deste procedimento não são totalmente certos e estão em estudo em algumas instituições do país.

Esta prática não resolve o problema do gerenciamento do resíduo da ETA, transfere o gerenciamento do tratamento e disposição do lodo da ETA para a ETE (REALI, 1999). Porém muitas vezes a ETA está colocada em área urbana e existe

no sistema de esgotos uma ETE com toda infra-estrutura montada para o tratamento e disposição dos lodos devido as grandes quantidades geradas e também pela tradição da operação de lodos em ETE's, desse modo, esta opção se torna atrativa economicamente (JANUÁRIO, 2005).

Muitas ETA's, nos Estados Unidos lançam seus resíduos em redes coletoras de esgotos e em ETE's, estas opções são muitas vezes atrativas economicamente. A AWWA e a Water Industri Database (1992) em vistoria das ETA's que lançam seus resíduos em ETE's relatou que tais plantas variam bastante em tamanho e que na maioria dos casos captam água de superfície para o tratamento. Notou-se que as preocupações dos gerentes das ETE's são bem diferentes dos gerentes das ETA's, enquanto nas ETA's a preocupação está em se desfazer rapidamente dos resíduos, de modo que qualquer alternativa tomada não há interferência na qualidade do seu produto, a água tratada, nas ETE's existe a preocupação de como os resíduos chegam, em que condições hidráulicas, concentrações, características químicas, em que ponto do processo e qual a disposição final se dará. Tudo isso pelo fato de que algumas opções adotadas causam interferência no produto desta atividade, seja no efluente tratado da fase líquida, seja no da fase sólida.

O lançamento dos resíduos no sistema de esgotos é muitas vezes atrativos para os gerentes de ETA's devido alguns benefícios do ponto de vista legal e operacional. Entretanto, isto não tem sido universalmente aceito pela comunidade dos esgotos contanto que as ETA's cumpram com os requisitos de pré-tratamento e descarga nos sistemas de esgotos, uma vez que ela absorve toda a responsabilidade pelo processamento dos resíduos.

Alguns custos que envolvem esta opção são a instalação de reservatórios de equalização dos resíduos para o lançamento seja em redes coletoras de esgotos, seja em estações elevatórias ou de bombeamento para pontos específicos de uma ETE (ASCE, 1996).

O sistema de esgotos, por sua vez, deve tanto comportar o transporte do lodo de ETA até a ETE, via rede coletora, tendo como alguns dos fatores decisivos as condições hidráulicas de lançamento, horários de lançamento e concentração de sólidos no lodo de ETA, quanto à capacidade de recebimento das cargas extras no processo de tratamento das fases líquida e sólida dos esgotos, sendo isto o objeto deste estudo.

Dentre as experiências nacionais, pode ser citado o caso da ETE do município de Franca operado pela SABESP (CINTRA FILHO, 2004). O lodo de ETA (tendo como coagulante cloreto férrico) é recebido em batelada pelo sistema de lodos ativados convencional mediante uma programação antecipada e diretamente para um decantador primário reservado. Foram estudados alguns efeitos da disposição do lodo nos decantadores primários, tanques de aeração e digestores secundários: aumento da concentração de sólidos suspensos no tanque de aeração, eficiência de remoção de DQO e DBO se mantiveram estáveis, diminuição do teor de matéria orgânica, etc. Pode ser citado também Carvalho (1999) que estudou a interferência do lodo de ETA com cloreto férrico em uma ETE no desempenho dos decantadores primários e digestores de lodo e verificou-se que o lodo não causou efeito prejudicial ao desempenho da ETE.

Scalize (2003) estudou a influência da disposição de lodo de ETA (sulfato de alumínio) em colunas de sedimentação com e sem lançamento de lodo de ETA (primeira fase) e verificou que o sobrenadante da coluna com lançamento de lodo de ETA apresentava uma maior redução na concentração dos parâmetros cor, turbidez, SST, SSV e DQO, além de coliformes totais, *Escherichia coli*, ovos de *Ancylostomidae* e larvas de *Strongyloides*. Na segunda fase do trabalho, numa estação piloto composta de lagoa de aeração seguida de lagoa de sedimentação, foi adicionado ao sistema lodo da ETA (cloreto férrico) e foi verificado que tal resíduo melhorou a qualidade do efluente em termos de DQO, DBO, SST, turbidez, cor, amônia, nitrato, NTK e fósforo total.

Além da maior remoção de sólidos suspensos nos decantadores primários, registra-se, também, maior remoção de DBO e DQO e uma maior eficiência na remoção de fósforo quando lodo contendo alumínio ou ferro são lançados em ETE's (ECKHART, 1988 apud CORNWELL e KOPPERS, 1990). O sulfeto de hidrogênio é um gás problemático em sistemas de esgotos, pois apresenta odor ofensivo já em concentrações de 0,1 ppm e, em concentrações maiores, pode causar danos físicos ao homem, além de causar sérios problemas de corrosão em estruturas de metal e concreto.

Pesquisas e aplicações práticas na Holanda de Alemanha mostraram que o lodo de ETAs contendo ferro podem ser efetivos no controle de sulfetos em coletores de esgotos e nos tanques de digestão das ETEs, em substituição ao cloreto férrico, normalmente utilizado (CORNWELL e KOPPERS, 1990), sendo um benefício do

lançamento do lodo de ETAs no sistema de coleta e tratamento de esgotos (JANUÁRIO, 2005).

Brink (2003) observou que tecnicamente, são viáveis o condicionamento e a desidratação de lodos de ETA em conjunto com lodos de ETE (na proporção de massa de sólidos no lodo da ETA por massa de sólidos de lodo de ETE de 25%), não verificando nenhum efeito prejudicial à etapa de desidratação em relação a operação do sistema somente com o lodo de ETE. Relatou ainda que eventuais pioras na eficiência da desidratação podem ser corrigidas com um aumento da dosagem de produtos químicos (polímeros) durante a etapa de condicionamento (JANUÁRIO, 2005).

Quadro 3.1 – Caracterização semi-quantitativa por FRX, de amostras de lodo provenientes de diferentes ETA's pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape. (REIS, 2005).

Composição Química	Concentração (%)*				
	Lodo ETA Registro		Lodo ETA Pariqueraçu	Lodo ETA S. Lourenço da Serra	Lodo ETA Juquitiba
	Fev./2004	Ago./2004			
SiO ₂	31,5	32,5	28,4	19,6	24,2
Al ₂ O ₃	23,7	23,8	21,1	25,5	27,8
Fe ₂ O ₃	11,8	11,4	11,7	17,1	16
K ₂ O	2,6	2,7	2,6	1,5	2,1
TiO ₂	1	1,2	0,96	0,79	0,85
MgO	0,95	1	0,41	0,39	0,21
So ₃	0,93	0,68	1,2	0,76	0,54
CaO	0,35	0,59	0,075	0,25	0,094
Cl	0,37	0,46	0,095	0,52	0,16
P ₂ O ₅	0,42	0,46	0,29	0,52	0,38
Na ₂ O	0,21	0,27	0,17	0,1	0,1
MnO	0,18	0,17	0,062	0,46	0,44
Cr ₂ O ₃	0,029	0,033	0,022	0,015	0,019
Rb ₂ O	0,018	0,027	0,006	0,003	0,003
NiO	0,013	0,015	0,008	0,007	0,012
PbO	-	0,014	-	-	0,019
ZnO	0,02	0,023	0,009	0,013	0,013
Br	0,008	0,012	0,011	0,048	0,011
CuO	0,013	0,011	0,006	0,008	0,01
SrO	0,005	0,009	0,002	0,001	0,002
ZrO ₂	0,007	0,008	0,008	0,009	0,005
Ga ₂ O ₃	0,008	0,008	0,005	0,005	0,01
Nb ₂ O ₅	0,0005	0,0004	0,0005	0,0009	0,0005
V ₂ O ₅	-	-	-	0,044	0,043
As ₂ O ₃	-	-	0,004	0,006	-
Y ₂ O ₃	-	-	-	0,002	-
Perda ao fogo	25,8	25,8	32,8	32,4	26,9

*Amostra previamente seca à 55-60°C e calcinada à 900°C por 1 hora.

Fonte: REIS, 2005.

Uma importante consideração que deve ser feita é quanto à qualidade do lodo de ETA em geral. Ele apresenta baixa concentração de matéria orgânica biodegradável e alta concentração de sólidos em suspensão inertes, isso significa que, quando lançado em ETE's, diretamente no processo de tratamento da fase líquida, as unidades de tratamento trabalham com um maior quantidade de sólidos em suspensão, porém, continuarão tratando a mesma quantidade de matéria orgânica. Esses sólidos terão uma menor relação SSV/SST e deverão ser calculados e conhecidos com a finalidade de: saber até quanto pode se aumentar a concentração de sólidos num reator, ou numa unidade de decantação, ainda, que vazão adicional será suportada pelas unidades da ETE, a fim de se evitar um colapso.

Reis et. al, 2004 e Reis, 2005, realizaram trabalhos que fundamentam os estudos de recursos hídricos e de saneamento, no que tange a disposição do lodo gerado em estações de tratamento de água, sendo a caracterização química destes lodos apresentada no Quadro 3.1, onde possibilita identificar individualmente seus componentes, as diferenças existentes entre mananciais. Identificou-se ainda a fração de perda ao fogo na ordem de 25-30%.

Em relação aos efeitos tóxicos que podem apresentar o lançamento do lodo de ETA's em ETE's, uma potencial toxicidade para o processo biológico se aplica, primeiramente pela descarga da fase líquida dos resíduos de ETA's nas ETE's. Os sólidos presentes nos resíduos líquidos podem estar disponíveis numa forma e presentes em concentrações suficientes para impedir o processo biológico. A determinação dos efeitos de toxicidade dos compostos inorgânicos no processo biológico de tratamento de esgotos não é um procedimento simples. Uma carga de choque inicial devido compostos tóxicos podem ter efeitos inibitórios no processo biológico, entretanto os microrganismos podem se adaptar e se ajustar devido a presença contínua do íon inorgânico. Concentrações limiares de íons tóxicos no processo biológico estão um nível acima do qual ocorre uma diminuição da eficiência da remoção de DQO. Os Resíduos líquidos podem conter fluoretos, bário, nitrato, arsênio, rádio e SDT. Cargas com taxas de nitrato podem ser consideradas problemas se a ETE opera com desnitrificação (CORNWEL, 1987).

Num estudo em escala real realizado por Rolan, foi adicionado por 60 dias o lodo de alumínio no fluxo de esgotos. O lodo de alumínio foi medido por uma dosagem na qual aumentou a concentração de SS no esgoto bruto de 100mg/L.

Nenhum efeito foi encontrado na DBO do efluente final, já os SS aumentaram de 20mg/L para 40mg/L. Após a interrupção da aplicação do lodo e alumínio a concentração de SS no efluente final retornou, imediatamente aos 20 mg/L. A cor teve um aumento de 45 à 59 UNC para 70 à 90 UNC e o fósforo total teve uma diminuição de sua concentração no efluente final de 7 mg/L para 4 mg/L com a aplicação do lodo de alumínio (CORNWEL, 1987).

4- Material e métodos

4.1- Considerações iniciais

A pesquisa foi desenvolvida basicamente em atividades em campo nas estações de tratamento de água e de esgotos do município de Juquitiba – SP e no Laboratório de Saneamento “Prof Lucas Nogueira Garcez”, do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica – USP. Para a utilização das estruturas existentes no município de Juquitiba – SP, foi concedido pela SABESP, a concessionária responsável pelos sistemas, a autorização para o desenvolvimento da pesquisa nestas unidades.

4.2- Plano de trabalho

O plano de trabalho foi dividido em três etapas: (1ª) o reconhecimento das estações de tratamento de água e de esgoto para as promover as adequações ao desenvolvimento deste projeto de pesquisa, (2ª) a caracterização do lodo da estação de tratamento de água, do esgoto bruto afluente, do lodo ativado do reator biológico, do efluente final e do lodo de excesso da ETE, antes do início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos e (3ª) caracterização do esgoto bruto afluente, do lodo ativado do reator biológico, do efluente final e do lodo de excesso da ETE, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.

4.2.1- Caracterização do lodo da ETA

A estação de tratamento de água de Juquitiba é do tipo convencional, com etapas de coagulação, floculação, decantação e filtração e utiliza sulfato de alumínio como coagulante. Nela existe um sistema de descarte de lodo de lavagem dos floculadores, decantadores e filtros diretamente ligado à galeria de águas pluviais. Para o desenvolvimento deste projeto de pesquisa, se fez necessário a inclusão na ETA de um reservatório de regularização de vazão deste lodo, tornando possível o seu lançamento na rede coletora de esgotos.

Inicialmente foram levantados os dados de operação da ETA Juquitiba, tais como: vazão de água bruta captada, dimensões das unidades floculadoras e decantadoras, volumes de água utilizada nos procedimentos de limpeza dos floculadores, decantadores e filtros, consumo de coagulante para o tratamento da água e frequências dos procedimentos de limpeza das unidades. Foram levantados dados de turbidez da água bruta e características físico-químicas do lodo gerado pelas unidades de tratamento da estação, como, sólidos em suspensão totais, fixos e voláteis, DQO, fósforo total, nitrogênio Kjeldhal total, pH e alcalinidade. Foram também realizadas outras análises químicas no Laboratório de Análises Químicas e Ambiental e Laboratório de Fluorescência de Raios-X, ambos localizados no CQMA-IPEN, com a finalidade de identificar elementos e compostos presentes no lodo.

Figura 4.1 – Sequência das unidades produtoras de água tratada do sistema de tratamento de água de Juquitiba: 1- estação de captação de água bruta; 2- floculadores, 3- decantador nº2 e 4- bateria de filtros

O dimensionamento do reservatório de equalização, ou regularização das vazões dos descartes dos líquidos de lavagem das unidades da ETA levou à conclusão de que seriam necessários 80 m^3 para este fim. Porém, foi construído um

reservatório de 30 m³ na ETA capaz de atender a regularização apenas das vazões das águas de lavagem dos filtros para o lançamento na rede de esgotos.

O procedimento de lavagem da unidade flocculadora não foi realizado enquanto decorreu a pesquisa, portanto não há necessidade de sua descrição. O procedimento de lavagem das unidades decantadoras tem freqüência mensal, é realizado no período da tarde pela necessidade de ter que parar o tratamento de água durante o procedimento de lavagem e é neste período que o reservatório de água tratada encontra-se com o nível mais alto ao longo do dia. Este procedimento inicia-se desligando as bombas da estação de captação seguido da abertura das válvulas de descarte do lodo dos decantadores. Enquanto o nível da água diminui nos decantadores o operador faz a limpeza das telhas e das paredes com jato de água pressurizada, Figura 4.2. Quando toda água escoou dos decantadores é feita a raspagem do lodo restante com enxada e jato de água, encaminhando-o para a tubulação de descarte, até a sua remoção total. As águas descartadas dos decantadores pelo procedimento de lavagem são escoadas por gravidade do início ao final do procedimento, levando para isso de 2 à 4 horas. Após isso reinicia-se o tratamento de água com o ligamento das bombas da estação de captação.

Figura 4.2 – Lavagem da unidade decantadora da ETA Juquitiba

O Procedimento de lavagem dos filtros é realizado diariamente no período da manhã com o tratamento de água em andamento. Existem três filtros em paralelo e

realiza-se a lavagem de um filtro de cada vez, sendo lavados apenas dois filtros por dia. Trata-se de um procedimento semi-automatizado e pressurizado, onde o operador manobra as válvulas manualmente e aciona o comando das bombas. A lavagem de cada filtro leva aproximadamente 10 minutos.

Para as águas de lavagem dos decantadores e floculadores foi construído um canal que encaminha estas águas para a rede coletora de esgotos, com a seguinte configuração: seção 60 x 50 cm (já existente, que encaminhava as águas de lavagem dos floculadores e decantadores para a galeria de águas pluviais) com um anteparo e uma tubulação de Ø 150 mm no seu final, interligando o canal à rede coletora de esgotos. Quando em função da abertura das válvulas de descarga das unidades floculadoras e decantadoras a vazão destes líquidos é maior do que a capacidade da tubulação da rede coletora ocorre o afogamento do canal, então o anteparo foi construído com uma calha vertedoura à aproximadamente 40 cm do fundo do canal, onde os líquidos excedentes à capacidade da rede coletora de esgotos possam transbordar e seguir para a galeria de águas pluviais.

Os dados vazão de água bruta captada, água tratada, volume de água utilizada nas lavagens dos filtros, consumo de coagulantes e outros produtos químicos e a frequência dos procedimentos de limpeza ou lavagem das unidades da ETA, foram fornecidas pela administração da estação. Os dados de turbidez da água bruta foram levantados em um relatório interno da SABESP (SABESP, 2003), uma vez que esta medição é feita e processada internamente à um programa controlador da dosagem dos sais coagulantes da estação, não sendo gerados relatórios com estes dados.

O volume da unidade floculadora não foi calculado por não ser realizada regularmente a limpeza desta unidade, já os volumes das unidades decantadoras foram calculados a partir de medições “*in loco*”.

As determinações de sólidos em suspensão, DQO, fósforo total, nitrogênio total, pH e alcalinidade do lodo da ETA foram realizadas a partir de amostras coletadas de forma aleatória para o lodo da lavagem dos decantadores e, de forma composta (alíquotas de 500 mL a cada minuto), para o lodo dos filtros e o lodo das descargas diárias que são feitas, de forma rápida, do fundo dos decantadores. Estas coletas foram feitas no canal de encaminhamento destes líquidos para a galeria de águas pluviais quando realizadas antes da manobra de lançamento dos resíduos da

ETA na rede coletora de esgotos e, no primeiro PV da rede coletora, quando realizadas após a manobra, como ilustrado na Figura 4.3.

Figura 4.3 – Pontos de coletas dos resíduos da ETA

O levantamento da quantidade de lodo produzido pela ETA Juquitiba foi realizado através do cálculo da equação de Ferreira Filho e Alem Sobrinho (2005):

$$PL = Q.(4,89.DAL + SS + CAP + AO).10^{-3} \quad (1)$$

onde:

PL= produção de lodo seco em kg/dia,

Q = vazão de água bruta em m³/dia,

DAI = dosagem de sais de alumínio, expresso como Al em mg/L,

SS = concentração de sólidos em suspensão totais na água bruta em mg/L,

CAP=concentração de carvão ativado em pó em mg/L,

OA=outros aditivos em mg/L (ex.: sílica ativada, polímeros, etc.).

4.2.2- Caracterização dos esgotos bruto, tratado e do lodo da ETE

Identificou-se inicialmente que a ETE Juquitiba era operada com uma rotina de visitas semanais de um funcionário, o qual fazia a verificação dos equipamentos e checagem dos comandos eletrônicos.

Com o início da pesquisa adicionou-se em sua rotina a atividade de descarte de lodo de excesso dos reatores biológicos, para a manutenção da idade do lodo de 25 dias. Tendo sido observado a impossibilidade de se manter uma rotina de operação sustentável da maneira descrita, adotou-se elaborar um plano de ação para a ETE.

Figura 4.4 – Estação de tratamento de esgotos pelo processo e lodo ativado com dois reatores seqüenciais em bateladas

Em conjunto com a SABESP definiu-se aplicar as seguintes alterações na ETE Juquitiba: (1) alocar um funcionário exclusivo para a estação, sendo este o operador exclusivo da ETE Juquitiba; (2) instalar uma “grade” para remoção de sólidos grosseiros do esgoto bruto; (3) instalar um medidor eletrônico de vazões dos esgotos afluentes à ETE; (4) equipar a estação com ferramentas de limpeza (vassouras, rodos, esponjas, espátulas, etc.), com ferramentas para manutenção (pá, enxada, colher de pedreiro, etc.) e com equipamentos de laboratório (proveta

graduada de 1 litro, cone Imhoff, bquer do 1 litro, termmetro, aparelho medidor re pH, oxmetro e clormetro); (5) um equipamento para retirada do efluente tratado da esto pela superfcie do lquido do reator; (6) elaborar o caderno de campo e (7) orientar o operador para os procedimentos da nova rotina da esto.

Foi designado pela SABESP um operador nos cinco dias teis da semana que continuou fazendo as verificaes anteriormente referidas, mais: as anlises dirias de slidos sedimentveis (cone Imhof) do esgoto bruto, de oxignio dissolvido no tanque de aerao, pH e temperatura do esgoto bruto, do lodo do reator biolgico e do efluente final, a retirada peridica do lodo de excesso do reator biolgico, a operao e manuteno preventiva da esto como determinado no caderno de campo.

Figura 4.5 – Grade de remoo de slidos grosseiros com limpeza manual

Na sua estrutura fsica, a ETE foi alterada com a implantao de uma grade de remoo slidos grosseiros do esgoto bruto, Figura 4.5, montante da caixa de areia; um medidor eletrnico de vazes e volumes (Nivelco) jusante da caixa de areia, juntamente com a aquisio de um computador (PC) capaz de receber e processar as informaes desse medidor, que foi considerado isto um importante passo para o controle da esto; a aquisio de equipamentos de anlises laboratoriais de (1)oxignio dissolvido, (2)pH, (3)temperatura, (4)slidos

sedimentáveis (cone Imhoff) e (5) provetas graduadas de um litro, assim como, baldes e cordas para coletas de amostras, beckers, frascos amostradores, pincetas para água destilada e álcool iodado.

Com tudo isso se deparou com mais um problema, os leitos de secagem do lodo de excesso não atenderam a necessidade da estação, de receber a quantidade de lodo para a manutenção da idade do lodo dos reatores biológicos de 25 dias. Foram levantadas alternativas para a solução do problema e a SABESP adotou a aquisição de “bag’s” desaguadores de lodo, os quais deveriam ser instalados sobre o material drenante dos leitos de secagem.

Foi então adquirido e implantado o sistema desaguador de lodo de excesso do tipo “bag” (Geotube-USA) a fim de possibilitar o descarte necessário de lodo de excesso para atender a idade do lodo dos reatores biológicos de 25 dias. Para o funcionamento do novo sistema foi necessária a implantação de um sistema paralelo de mistura e dosagem de polímero na linha de descarte de lodo de excesso, para atender as necessidades do “bag” desaguador de lodo. Para a manutenção da idade do lodo do reator biológico da ETE em 25 dias, seria necessária a transferência diária de $15,7 \text{ m}^3$ de licor misto dos reatores biológicos para o sistema desaguador de lodo. Com o início da pesquisa observou-se que os leitos de secagem não foram suficientes para este fim e encontrou-se a solução dos “bag” desaguadores, que atenderam essas necessidades.

A caracterização do esgoto bruto deu-se pela sua coleta imediatamente após a caixa de areia da ETE, como ilustrado na Figura 4.6, sendo a amostra uma composta de três coletas num dia: 1ª às 8:30h, 2ª às 11:00h e 3ª às 14:30h, utilizando para isso um Becker de 1 litro e um frasco amostrador de 3 litros. As coletas tiveram frequência semanal e foram analisados os parâmetros: pH e temperatura no laboratório da ETE e sólidos em suspensão totais, fixos e voláteis, alcalinidade, DQO, $\text{DBO}_{5,20}$, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrato, fósforo total e fósforo solúvel no laboratório de saneamento da EP-USP, das amostras coletadas, com frequência semanal.

Figura 4.6 – Pontos de coleta das amostras da ETE Juquitiba

A caracterização do lodo ativado dos dois reatores biológicos da ETE foi realizada através das coletas diretamente nos reatores, como ilustrado na Figura 4.6, na fase do ciclo do processo de bateladas de reação, sempre no período da manhã. Foi utilizada uma corda e um balde de dez litros e dois frascos amostradores de 1 litro, um para cada lodo ativado dos dois reatores. As coletas tiveram frequência semanal e foram analisados os parâmetros: oxigênio dissolvido, pH e temperatura no laboratório da ETE e sólidos em suspensão totais, fixos e voláteis e caracterização biológica do floco de lodo ativado, no laboratório de saneamento da EP-USP.

A caracterização do efluente tratado da ETE foi realizada através das coletas no final da tubulação de retirada do efluente tratado dos reatores biológicos e, imediatamente, antes da entrada destes efluentes no tanque de contato de cloro da ETE, como ilustrado na Figura 4.6, sempre no período da manhã. Foi utilizado um becker de 1 litro e 2 frascos amostradores de 1 litro, sendo um para cada efluente dos dois reatores. As coletas tiveram frequência semanal e foram analisados os seguintes parâmetros: pH e temperatura no laboratório da ETE e sólidos em suspensão totais, fixos e voláteis, alcalinidade, DQO, DBO₅, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrato, fósforo total e fósforo solúvel, no laboratório de saneamento da EP-USP.

A caracterização do lodo de excesso foi considerada a mesma do lodo ativado dos reatores biológicos uma vez que o descarte deste lodo é feito diretamente dos reatores, quando estes se encontram em fase de aeração.

Após ter sido calculada a produção de lodo da ETA e ter sido estimada a aplicação diária deste no sistema de esgotos, foi realizado um ensaio de “Jar-Test”, no laboratório de saneamento da EP-USP, com a aplicação do lodo da ETA no esgoto bruto, preliminarmente ao início das etapas 2 e 3, descritas anteriormente. Este ensaio teve como finalidade obter dados prévios quanto à captura do fósforo total dos esgotos pelo lodo da ETE. O ensaio foi conduzido da maneira descrita na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Ensaio de Jar-Test de aplicação de lodo da ETA Juquitiba no esgoto bruto afluente à ETE

Nº de jarros	6
Volume de esgotos nos jarros	2 litros
Aplicação de lodo de ETA – J_1	0 mg SST(ETA) / L de esgotos (branco)
Aplicação de lodo de ETA – J_2	25 mg SST(ETA) / L de esgotos
Aplicação de lodo de ETA – J_3	50 mg SST(ETA) / L de esgotos
Aplicação de lodo de ETA – J_4	75 mg SST(ETA) / L de esgotos
Aplicação de lodo de ETA – J_5	100 mg SST(ETA) / L de esgotos
Aplicação de lodo de ETA – J_6	150 mg SST(ETA) / L de esgotos
Mistura rápida	2 minutos à 300 rpm
Mistura lenta	20 minutos à 30 rpm
Sedimentação	1 hora
Coleta do sobrenadante p/ análise	1 litro (pela altura média do jarro)

4.2.3- Métodos analíticos

As análises laboratoriais das amostras relativas ao lodo da ETA, esgoto bruto, lodos ativados do reator biológico e efluente final da ETE, foram realizadas no Laboratório de Saneamento “Prof Lucas Nogueira Garcez”, do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica e terão como referência para o seu desenvolvimento o manual Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18ªEd. (1995). As análises pH e temperatura do esgoto bruto, lodo dos reatores biológicos e efluente tratado, e oxigênio dissolvido do lodo dos reatores da ETE, foram realizadas no laboratório da ETE.

A frequência das coletas, assim como das análises laboratoriais foi semanal, com a exceção do ensaio de caracterização biológica do floco de lodo ativado, que

foi feito no início da operação do sistema. Os principais métodos analíticos e materiais utilizados estão listados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Métodos analíticos e material utilizado na determinação de parâmetros (continua)

Parâmetros	Metodologia	Equipamentos/ Infra-estrutura
DBO ₅ (mg/l)	Técnica das diluições sem semeadura e incubação a 20°C. Determinação de concentrações de OD pelo método eletrométrico	Frascos DBO Wheaton Câmara Incubadora BOD Mod 347 CD, FANEMI Oxímetro YSI modelo 5100
DQO (mg/L)	Método convencional de oxidação química com dicromato de potássio catalisada pela Hg em refluxo aberto. Titulação do excesso de dicromato com sulfato ferroso amoniacal	Digestor SOXLEHT Nova Ética Bureta Vidrarias
pH	Método potenciométrico com eletrodo de pH	pHmetro Orion mod 720 ^a
OD (mg/L)	Método eletrométrico com eletrodo de OD	Oxímetro YSI modelo 5100
SST, SSF, SSV	SST: Filtração em filtro-membrana de fibra de vidro de 1,2µ e secagem em estufa a 104°C. SSF: Calcinação da membrana após filtração e secagem em forno mufla a 550 – 600°C SSV: determinado por diferença (cálculo)	Balança analítica Metler AE 260 Delta Range Sistema de filtração Etufa Mufla
Nitrogênio Total Kjeldhal (NTK)	Digestão química do nitrogênio orgânico, destilação da amônia e titulação com H ₂ SO ₄	Digestor Büchi
Nitrogênio Amoniacal	Destilação da amônia e titulação com H ₂ SO ₄ .	Destilador Büchi
Nitrato	Eletrodo de íon-específico que responde a atividade iônica do Nitrato numa faixa de 0,14 a 1400mgN-NO ₃ ⁻ /L	Eletrodo íon específico Orion mod 720 A

Tabela 4.2 – Métodos analíticos e material utilizado para determinação dos parâmetros (conclusão)

Parâmetros	Metodologia	Equipamentos/ Infra-estrutura
Fósforo Total	Digestão ácida de fosfatos orgânicos e colorimetria (Método do Ácido ascórbico)	Digestor Büchi + espectrofotômetro
Fósforo solúvel	Colorimetria com reagente combinado (Método do Ácido Ascórbico)	Digestor Büchi + espectrofotômetro
Alcalinidade	Titulação potenciométrica de neutralização ácido-base	Bureta volumétrica

Os dados obtidos pelas análises realizadas nas amostras de esgoto bruto, lodo do tanque de aeração, efluente final da ETE e do lodo da ETA durante todo o período experimental, foram organizados e trabalhados matematicamente e estatisticamente em planilhas digitais, mais especificamente, utilizando o programa computacional MS-Excel. Foi utilizada a estatística descritiva como, média, mediana, quartil, mínimo, máximo, variância e desvio padrão. Foram utilizadas representações gráficas desses resultados através de séries temporais e “box-plot”.

Para comparação dos resultados foi considerado que a amostra retirada durante a realização desta pesquisa na situação antes do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos ou na situação após o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos represente uma das quaisquer outras amostras, das duas situações, que poderiam ter sido retiradas no momento da coleta do material a ser analisado (MAGALHÃES, 2005).

Portanto, com base no “Teorema do Limite Central” usou-se intervalos de confiança, a 95%, construídos com o respectivo erro-padrão: $s(\bar{X}) = \frac{s}{\sqrt{n}}$.

A expressão matemática utilizada para determinar o Intervalo de Confiança foi:

$$IC_{(\alpha/2)} = \bar{X} \pm 1.96 \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

$\bar{X}$ = média da amostra

s = desvio padrão da amostra

n = tamanho da amostra

$\frac{s}{\sqrt{n}}$ = erro padrão, correspondendo ao desvio padrão da “Distribuição de Médias

Amostrais”

1,96 = valor de z , na Distribuição Normal de Probabilidade, aceitando o erro de 0,05.

Os resultados foram analisados de forma comparativa entre os dados experimentais obtidos do esgoto bruto sobre os parâmetros DBO₅, DQO, concentrações SST, SSV e SSF, pH, alcalinidade, fósforo total e fósforo solúvel, série nitrogenada antes e depois do lançamento dos lodos da estação de tratamento de água no sistema de esgotos.

Foram analisados, também de forma comparativa os resultados das análises do lodo ativado do reator biológico antes e depois do lançamento do lodo da ETA nesse sistema, considerando os seguintes parâmetros: série de sólidos em suspensão, pH, OD e a razão SSV/SST.

Ainda a mesma linha de análise foi feita sobre os resultados obtidos com o efluente final da ETE, dos parâmetros SST, SSV, SSF, pH, alcalinidade, DBO, DQO, série nitrogenada, fósforo total e fósforo solúvel.

5- Resultados e discussão

5.1- Considerações iniciais

Existiram três etapas que geraram os resultados deste trabalho, sendo a primeira etapa de reconhecimento e adequação dos sistemas de água e esgotos a fim de possibilitar o desenvolvimento das duas etapas seguintes. A segunda etapa foi a de caracterização dos parâmetros estabelecidos como relevantes para esta pesquisa, tanto no sistema de tratamento de água, quanto no sistema de tratamento de esgotos considerando que os resíduos gerados na estação de tratamento de água são lançados na galeria de águas pluviais, conseqüentemente a estação de tratamento de esgotos recebe apenas os efluentes provenientes da rede coletora de esgotos à ela interligada. E a terceira etapa desta pesquisa foi a de caracterização dos parâmetros referentes ao sistema de tratamento de esgotos após ter sido efetuado a manobra na estação de tratamento de água que promoveu o lançamento dos seus resíduos na rede coletora de esgotos e não mais na galeria de águas pluviais como ocorria anteriormente.

A primeira etapa, descrita no parágrafo anterior, porém, não deve ser considerada como fonte de dados confiáveis para elaboração de análises comparativas e estatísticas referente ao tratamento de esgotos proposto neste projeto. Tal etapa caracterizou-se pelas atividades de ajuste dos sistemas de água e esgotos para que estes trabalhassem na rotina proposta por este projeto de pesquisa

5.2- Caracterização do lodo gerado na estação de tratamento de água

Foram levantados os dados de operação da ETA Juquitiba –SP no período de pesquisa compreendido entre 24 de maio e 15 de novembro de 2006, os quais foram fornecidos pela SABESP e estão apresentados na Tabela 5.1, com exceção dos dados de turbidez da água bruta que foram adaptados da descrição do Relatório Interno da SABESP (2003), e da vazão das descargas rápidas diárias de fundo dos decantadores, que foi calculada “*in loco*”.

Tabela 5.1 –Dados de operação da ETA Juquitiba no período de 2 de agosto à 15 de novembro de 2006.

Vazão média de água tratada (m ³ /dia)	1.975
Consumo médio diário de sulfato de alumínio (Kg/dia)	48
Turbidez média da água bruta (UNT)	10
Vazão de água de lavagem dos filtros (m ³ /dia)	46
Vazão de água das descargas diárias de fundo dos decantadores (m ³ /dia)	11,16
Volume de água descartada na limpeza completa dos decantadores (m ³)	256

Para a obtenção da massa de lodo produzido na estação de tratamento de água, utilizou-se a equação descrita por Ferreira Filho e Alem Sobrinho, 2005:

$$PL = Q.(4,89.DAL + SS + CAP + AO).10^{-3} \quad (1)$$

onde:

PL= produção de lodo seco em kg/dia,

Q = vazão de água bruta em m³/dia,

DAI = dosagem de sais de alumínio, expresso como Al em mg/L,

SS = concentração de sólidos em suspensão totais na água bruta em mg/L,

CAP=concentração de carvão ativado em pó em mg/L,

OA=outros aditivos em mg/L (ex.: sílica ativada, polímeros, etc...).

dados obtidos:

Vazão de água bruta (média diária) = 1.975 m³/dia

Dosagem de sais de alumínio, expressos como Al = 3,84 mg/L

SS = 10 mg/L

CAP = 0 (zero)

Outros aditivos = 0 (zero)

Portanto: $PL = 1.975 \text{ m}^3 \times (4,89 \times 3,84 \text{ mg/L} + 10 \text{ mg/L} + 0 + 0) \cdot 10^{-3}$
 $PL = 56,84 \text{ Kg / dia}$

Massa devido a retro-lavagem dos filtros:

46 m³/dia de água de lavagem (SABESP, 2006)

SST médio de 203 mg/L (tebela 5.5)

Portanto: $PL_{\text{filtros}} = 9,34 \text{ Kg/dia}$

Massa devido a limpeza dos decantadores:

$$PL_{\text{deant.}} = PL_{\text{total}} - PL_{\text{filtros}}$$

$$PL_{\text{decant.}} = 56,84 - 9,34 \text{ (Kg/dia)}$$

$$PL_{\text{decant.}} = 47,50 \text{ Kg/dia}$$

Sendo esta última massa dividida em (1) descargas rápidas diárias de fundo dos decantadores e (2) lavagem mensal completa dos decantadores, então:

Massa devido a descarga diária rápida de fundo dos decantadores:

11,16 m³/dia de líquidos das descargas diárias de fundo dos decantadpores

SST médio de 656 mg/L (Tabela 5.5)

Portanto: $PL_{\text{desc rap decant.}} = 7,32 \text{ Kg/dia}$

Com posse desses dados elaborou-se a Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Resumo dos dados de volumes, vazões e concentrações de sólidos em suspensão total obtidos da ETA Jiquitiba

Parâmetro	Vazões (m ³ /dia)	SST (mg/L)	Massa de sólidos (kg/dia)
Água de lavagem de filtros	46	203	9,34
Água de descargas rápidas de fundo dos decantadores	11,16	656	7,32
Água de lavagem dos decantadores	8,53 ou 256 m ³ /mês	4710	40,18 * ou 1.205,40 kg/mês
Totais	65,69	865	56,84

* 40,18 kg/dia = 47,50kg/dia – 7,32 kg/dia

Analisando a Tabela 5.2, é possível verificar que, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos, existe um acréscimo diário de $57,16 \text{ m}^3$ de líquidos no sistema de esgotos sanitários devido aos filtros ($46 \text{ m}^3/\text{dia}$) e às descargas rápidas de fundo dos decantadores ($11,16 \text{ m}^3/\text{dia}$).

No entanto, foi difícil medir o volume que realmente entrou na rede coletora de esgoto pela lavagem completa dos decantadores da ETA. Ta fato se deve à perda por transbordamento através da calha vertedora do canal que encaminha estes líquidos até a rede coletora de esgotos.

Então adotou-se estimar o volume que entrou na ETE utilizando os dados registrados pelo medidor de vazão de esgotos afluentes ali existente e sabendo-se os dias de lavagem dos decantadores, foi possível definir o volume aportado na ETE devido ao procedimento de lavagem dos decantadores da ETA.

As datas de lavagem dos decantadores com lançamento dos líquidos na ETE, dentro do período da pesquisa, foram 18 de agosto, 17 de setembro e 18 de outubro de 2006, tendo sido registrado pelo equipamento de medição de vazões/volumes da ETE apenas o volume do dia 18 de agosto.

Os demais dias não foram registrados por motivo de falha do equipamento. Foi então considerado apenas um dia de informação, 18 de agosto de 2006, para verificação do volume aportado na ETE devido este procedimento.

Tabela 5.3 – Resumo das vazões de entrada de esgotos na ETE Juquitiba

Parâmetro	Período sem lodo de ETA na ETE 24/05/06 e 26/07/06	Período com lodo de ETA na ETE 02/08/06 e 15/11/06
Vazão média (m^3/dia)	347	431

Tendo sido registrado, nesta data, a entrada de um volume de 706 m^3 e a média do período ter sido 431 m^3 , como mostra a Tabela 5.3, encontrou-se uma diferença de 275 m^3 . Como havia sido previsto um acréscimo de 256 m^3 na ETE para as datas de lavagem dos decantadores, verificou-se uma forte coerência e assim, poder admitir que as perdas pela calha vertedora, existente na ETA, são insignificantes.

Verificou-se, também através dos dados da Tabela 5.3, que existiu um acréscimo médio de 84 m³/dia após o início da operação de lançamento de lodo de ETA no sistema de esgotos, maior que aquele calculado anteriormente, de 65,69 m³, devido às operações na ETA. Porém é importante ressaltar que, parte desse acréscimo, pode ter sido devido algumas chuvas ocorridas no segundo do período descrito, uma vez que este coincide com o “início das águas”. Não foi realizado o controle de chuvas nesta pesquisa e, com isso, adotou-se por a não discussão das vazões de infiltração de água de chuva na rede coletora de esgotos.

A Tabela 5.4 apresenta a aplicação do resíduo sólido gerado pela estação de tratamento de água no sistema de tratamento de esgotos, considerando que todo resíduo produzido na ETA foi encaminhado à ETE, via rede coletora de esgotos.

Tabela 5.4 – Resumo da aplicação do lodo da ETA na ETE – Juquitiba

Origem do resíduo	Massa de sólidos	Aplicação do lodo da ETA na ETE (mg de resíduo sólido da ETA / litro de esgotos)
	Kg/dia	
Lavagem de filtros	9,34	21,67
desc. Rap. Fundo dos decant.	7,32	16,98
Lavagem dos decantadores	40,18	93,22
Total	56,84	131,87

Sendo a ETA quatro vezes maior que a ETE no que diz respeito às vazões ou seja, a ETA produz aproximadamente 2.000 m³ de água tratada por dia, como média anual, e considerando que 80% desta água se transforme em esgotos, a bacia atendida por esta ETA produz 1.600 m³ de esgotos por dia. Portanto apesar de a ETE receber seus efluentes de uma bacia abastecida por água daquela ETA, a ETE recebe apenas a ordem de 400 m³ de esgotos por dia de média anual. Desta maneira, a condição de aplicação dos resíduos gerados na estação de tratamento de água no sistema de esgotos foi de quatro ETA's para uma ETE.

Porém, é importante destacar que a aplicação do resíduo devido à lavagem dos decantadores não foi realizada como descrito na Tabela 5.4, de forma distribuída ao longo do mês, e sim de forma pontual, em até quatro horas de um único dia.

Aplicou-se 256 m³ de águas de resíduos dos decantadores, à uma concentração de sólidos em suspensão totais de 4.710 mg/L em 4 horas, ou, ainda, 1.205,40 kg de resíduo sólido por procedimento, como descrito na Tabela 5.2.

Assim, a aplicação do resíduo da lavagem dos decantadores no sistema de esgotos acontece em um único dia à uma taxa descrita na Figura 5.1, considerando uma aplicação ao longo de todo um dia, uma vez que o controle das vazões de esgotos na ETE foi realizada com grandeza diária.

Figura 5.1 – Esquema de cálculo da aplicação dos resíduos da ETA na ETE, no dia da lavagem dos decantadores da ETA.

Outros dados foram levantados referentes aos resíduos gerados na estação de tratamento de água, como descritos na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Resultados médios dos parâmetros medidos nos resíduos da ETA – Juquitiba

Parâmetros	Resíduos de lavagem dos filtros	Resíduos de lavagem dos decantadores descargas rápidas diárias	Resíduos de lavagem dos decantadores
DQO (mg/l)	59	164	1067
SST (mg/L)	203	656	4229
SSF (mg/L)	137	466	3330
SSV (mg/L)	66	190	1150
Fósforo total (mg/L)	0,2	0,8	4,8
Nitrogênio total (mg/L)	2,1	5,6	42,3
PH	5,8	5,7	5,8
Alcalinidade (mg/L)	-	-	46
SSV/SST	0,33	0,29	0,27

As amostras dos resíduos de lavagem dos decantadores foram coletadas de forma aleatória no canal de saída destes líquidos da ETA, devido à impossibilidade de se realizar uma amostragem composta.

Foi verificado uma faixa típica de lodo de estação de tratamento de água para a relação SSV/SST próximo de 0,30, condizente com lodos de estações com captação de águas superficiais.

O Quadro 5.1 contém os resultados das análises da fase líquida do lodo da ETA pela técnica analítica ICP-OES/AA e dos compostos deste lodo pela técnica analítica Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (WDXRF), com nível de confiança de 95%. Ambas realizadas no IPEN / CQMA.

Quadro 5.1 – Resultados das análises da fase líquida do lodo da ETA, amostra 986 composta do lodo dos filtros e decantadores, pela técnica analítica ICP-OES/AA e dos compostos deste lodo pela técnica analítica Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (WDXRF)

Elemento	Concentração µg/mL	Elemento	Concentração µg/mL	Elem./Comp.	%
B	< 0,004	P	0,023 ± 0,003	Al ₂ O ₃	34,8 ± 0,5
Al	0,025 ± 0,003	Ca	1,64 ± 0,01	Fe ₂ O ₃	31,2 ± 0,5
V	< 0,03	Fe	0,020 ± 0,004	SiO ₂	28,3 ± 0,5
Cr	<0,01	Ba	0,017 ± 0,001	K ₂ O	1,7 ± 0,3
Mn	0,355 ± 0,003	Co	<0,01	MnO	1,0 ± 0,2
Ni	< 0,01			TiO ₂	0,71 ± 0,05
Cu	< 0,02			SO ₃	0,70 ± 0,08
Zn	< 0,001			P ₂ O ₅	0,57 ± 0,08
Mo	< 0,01			Cl	0,32 ± 0,08
Sn	< 0,06			MgO	0,22 ± 0,08
Li	0,003 ± 0,0001			CaO	0,17 ± 0,05
Sb	< 0,001			Elem./Comp.	mg/kg
Be	< 0,002			Na ₂ O	857 ± 20
Mg	0,640 ± 0,002			Br	416 ± 20
As	< 0,001			Cr ₂ O ₃	244 ± 20
Na	1,57 ± 0,01			ZnO	177 ± 10
Si	2,93 ± 0,01			NiO	154 ± 10
K	0,493 ± 0,001			CuO	128 ± 10
Ag	< 0,002			As ₂ O ₃	110 ± 30
Cd	< 0,0001			ZrO ₂	43 ± 10
Pb	< 0,001			Rb ₂ O	41 ± 10

A amostra 986, foi coletada no dia 9 de agosto de 2006, sendo uma amostra composta do lodo da lavagem dos filtros e do lodo das descargas rápidas de fundo dos decantadores. Foram analisados os parâmetros listados na Figura 5.2 pelo IPEM e, no laboratório de saneamento da EP-USP, analisados os sólidos em suspensão totais: SST = 1.024 mg/L, fixos: SSF = 744 mg/L e voláteis: SSV = 280 mg/L.

5.2.1 Resultados do ensaio de Jar-Test

O ensaio de Jar-Test realizado conforme descrito na Tabela 4.1 apresentou os seguintes resultados de concentrações de fósforo total:

- J_1 (branco)	5,7 mg.P/L
- J_2 (25mg/L)	5,1 mg.P/L
- J_3 (50mg/L)	5,0 mg.P/L
- J_4 (75mg/L)	4,7 mg.P/L
- J_5 (100mg/L)	4,6 mg.P/L
- J_6 (150mg/L)	4,1 mg.P/L

Verificou-se com este ensaio que a aplicação de lodo de ETA no esgoto bruto de 25mg/L, 50mg/L, 75mg/L, 100mg/L e 150mg/L, seguido de agitação e sedimentação promoveu a diminuição da concentração de fósforo total de 10%, 12%, 17%, 19% e 28% respectivamente.

5.3- Caracterização dos esgotos bruto, tratado e do lodo do reator biológico da ETE, anteriormente ao início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

O período de identificação dos parâmetros referidos na metodologia da estação de tratamento de esgotos, antes do início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos, está compreendido entre 24 de maio e 26 de julho de 2006. Trata-se do período em que a estação trabalhou em regime uniforme de operação com o controle da idade do lodo de 25 dias.

A estação de tratamento de esgotos de Juquitiba recebe os efluentes de uma parcela daquela população atendida pela ETA, do mesmo município, portanto apresenta vazões inferiores à desta última estação, como apresentado na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Vazão de esgoto afluyente à ETE Juquitiba no período de 24 de maio à 26 de julho de 2006

Vazão (m ³ /dia)	
Período: 24/05/06 à 26/07/06	
Número de dados	59
Média	346
Desvio padrão	52
Mínimo	259
Máximo	521
Intervalo de confiança (95%)	[332 ; 359]

O período em que foram registrados os dados de vazões da ETE, nesta segunda etapa da pesquisa coincide com o período climático estiagem, ou seja, de seca. Realmente ocorreram poucas chuvas entre estas datas, porém não foi feito controle sobre esta grandeza, apenas anotações no caderno de campo sendo: dia ensolarado, dia chuvoso, etc.

Verificaram-se vazões bem definidas ao longo deste período, como descrito na Tabela 5.6, com dois conjuntos de datas que sobressaíram à média sendo, o primeiro logo no início do período, dias 24 e 25 de maio com vazões de 456 e 484 m³/dia e, o segundo conjunto de datas no mês de junho entre os dias 12 e 13, com vazões de 521 e 392 m³/dia.

Os resultados referentes ao lodo dos reatores biológicos e ao efluente tratado da estação de tratamento de esgotos serão apresentados sempre com as indicações R.1 e R.2, devido à estação ser constituída por dois reatores, o reator 1 e o reator 2, que trabalham com seus lodos separadamente. Estes lodos nunca se misturam em condições normais de operação. Conseqüentemente seus efluentes possuem características individuais. Isto é uma característica do processo de lodo ativado com reatores seqüenciais em bateladas.

Tabela 5.7 – Resultados dos parâmetros DBO_{5,20} e DQO do esgoto afluente e tratado da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Parâmetro	Ponto	n	Média	Desvio padrão	Erro padrão	Intervalo de confiança (95%)
DBO _{5,20} (mg/L)	Afluente	9	369	100	33,33	[303 ; 434]
	Efluente R.1	5	33	17	7,60	[18,09 ; 47,90]
	Efluente R.2	8	58	31	2,82	[52,45 ; 63,54]
DQO (mg/L)	Afluente	10	718	134	42,37	[634 ; 801]
	Efluente R.1	5	55	33	2,24	[50,61 ; 59,38]
	Efluente R.2	9	94	46	15,33	[63,95 ; 124,05]

Na Tabela 5.7 verifica-se que o esgoto afluente à estação de tratamento de esgotos tem características tipicamente domésticos e, no que se refere ao efluente da estação, verifica-se resultados típicos do processo de lodo ativado.

Figura 5.3 – Séries temporais de DBO_{5,20} do esgoto afluente e efluente da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.4 – Séries temporais de DQO do esgoto afluente e efluente da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Os resultados referentes ao afluente à ETE, nos diagramas de séries temporais de $DBO_{5,20}$ e DQO, das Figuras 5.3 e 5.4, que ilustram a Tabela 5.7, possibilitam verificar que estes parâmetros apresentam características de esgotos domésticos “médio”, segundo Jordão e Pessoa (2005). Típicos de épocas secas.

Tabela 5.8 - Resultados dos parâmetros sólidos em suspensão totais, voláteis e fixos do esgoto afluente, tratado e do lodo dos reatores biológicos da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Parâmetro	Ponto	n	Média	Desvio padrão	Erro padrão	Intervalo de confiança (95%)
SST (mg/L)	Afluente	9	325	75,28	25,09	[275 ; 374]
	Lodo R.1	9	2.603	451,68	150,56	[2307 ; 2.897]
	Lodo R.2	6	2.848	283,77	115,85	[2620 ; 3.075]
	Efluente R.1	6	36	12,56	5,13	[25,95 ; 46,05]
	Efluente R.2	9	45	21,98	7,33	[30,53 ; 59,25]
SSV (mg/L)	Afluente	9	264	53,22	17,74	[229 ; 298]
	Lodo R.1	9	1.762	203,67	67,89	[1629 ; 1.895]
	Lodo R.2	6	2.096	112,85	46,07	[2005 ; 2.186]
	Efluente R.1	6	29	27,44	11,20	[7,38 ; 51,29]
	Efluente R.2	9	40	18,81	6,27	[27,27 ; 51,84]
SSF (mg/L)	Afluente	9	61	32,48	10,83	[39,67 ; 82,11]
	Lodo R.1	9	840	309,58	103,19	[638 ; 1.042]
	Lodo R.2	6	752	211,02	86,15	[583 ; 920]
	Efluente R.1	3	8	5,66	3,27	[1,60 ; 14,40]
	Efluente R.2	5	10	6,07	2,71	[4,28 ; 14,92]

A partir da Tabela 5.8, verificou-se as relações SSV/SST do lodo dos reatores biológicos 1 e 2, sendo 0,68 e 0,73, respectivamente e, ainda, a mesma relação em 0,81 para o esgoto bruto.

Fazendo uma análise com as Tabelas 5.6, 5.7 e 5.8, e sabendo-se o volume dos reatores quando cheios (900 m^3), verificou-se a relação alimento/microrganismo (A/M) considerando a média das concentrações de sólidos em suspensão voláteis dos dois reatores. Sendo $A/M = 0,074 \text{ Kg DBO}_{5,20}/\text{Kg SSVTA.dia}$, ou ainda, $A/M = 0,144 \text{ Kg DQO}/\text{Kg SSVTA.dia}$, características de sistemas de lodo ativado com aeração prolongada.

Figura 5.5 – Séries temporais de sólidos em suspensão totais do lodo dos reatores biológicos 1 e 2 da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.6 – Séries temporais de sólidos em suspensão voláteis do lodo dos reatores biológicos 1 e 2 da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.7 – Séries temporais de sólidos em suspensão fixos do lodo dos reatores biológicos 1 e 2 da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

A produção de lodo pela estação pode ser calculada pelo produto da vazão de lodo de excesso pela concentração de sólidos deste lodo, somado a vazão de efluente tratado pela concentração de sólidos neste efluente. Com os dados de vazão da Tabela 5.6 e das concentrações de sólidos da Tabela 5.8, obteve-se a produção de lodo de excesso de 54,5 Kg/dia.

Na Figura 5.7 verificou-se um acréscimo de sólidos fixos no reator 1, maior que aquele que ocorreu no reator 2, entre os dias 30 e 60 deste período. Isto é uma das características do sistema com reatores seqüenciais em bateladas, onde ora os esgotos entram no reator 1, ora no reator 2, e nunca nos dois reatores ao mesmo tempo.

Tabela 5.9 - Resultados dos parâmetros NKT, nitrogênio amoniacal e nitrato do esgoto afluente e tratado da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Parâmetro	Ponto	N	Média	Desvio padrão	Erro padrão	Intervalo de confiança (95%)
NKT (mg/L)	Afluente	10	77,45	15,93	5,04	[67,57 ; 87,32]
	Efluente R.1	5	6,76	3,72	1,66	[3,50 ; 10,01]
	Efluente R.2	5	9,40	1,75	0,78	[7,86 ; 10,94]
N-Amoniacal (mg/L)	Afluente	10	49,03	13,33	4,22	[40,77 ; 57,29]
	Efluente R.1	10	3,08	3,51	1,11	[0,91 ; 5,26]
	Efluente R.2	7	1,07	1,50	0,57	[-0,04 ; 2,18]
Nitrato (mg/L)	Afluente	4	0,32	0,22	0,11	[0,11 ; 0,53]
	Efluente R.1	4	5,75	1,64	0,82	[4,15 ; 7,35]
	Efluente R.2	5	5,07	2,43	1,09	[2,94 ; 7,19]

Os resultados obtidos das análises da série nitrogenada descritas na Tabela 5.9 mostraram que o esgoto afluentes à ETE possui características bem típicas de esgotos domésticos. Já os efluentes são característicos dos efluentes de sistemas sem a previsão de remoção de nitrogênio, porém nota-se que a concentração de nitrato efluente é baixa em relação à quantidade de N-amoniaco removido.

Figura 5.8 – Séries temporais de NKT do esgoto afluente e efluente da ETE Juititaba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.9 – Séries temporais de nitrogênio amoniacal do esgoto afluente e efluente da ETE Juititaba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

As análises laboratoriais de nitrato tiveram seu encerramento no dia 21 de junho de 2006, devido à quebra do aparelho utilizado nesta medição (eletrodo), seguido da demora da reposição por um novo aparelho, por parte do fornecedor. No período em que foi medido este parâmetro, verificou-se que as concentrações de nitrato foram baixas (média de 5 à 6 mg/L, na Tabela 5.9), face à oxidação

praticamente total de aproximadamente 50 mg/L de amônia, Tabela 5.9. Embora seja possível a ocorrência de desnitrificação nos períodos sem aeração, é pouco provável que tenha ocorrido de forma tão significativa.

Figura 5.10 – Séries temporais de nitrato do esgoto afluente e efluente da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

A Figura 5.10 ilustra a produção de nitrato tanto pelo reator 1, quanto pelo reator 2. Isto é uma característica do sistema de lodo ativado com aeração prolongada, ou idade do lodo alta. Verificou-se nesta Figura que houve a interrupção da apresentação dos dados próximo do trigésimo dia deste período.

Tabela 5.10 - Resultados dos parâmetros fósforo total e solúvel do esgoto afluente e tratado da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Parâmetro	Ponto	n	Média	Desvio padrão	Erro padrão	Intervalo de confiança (95%)
Fósforo Total (mg/L)	Afluente	9	8,92	1,26	0,42	[8,09 ; 9,74]
	Efluente R.1	5	3,00	1,33	0,60	[1,83 ; 4,17]
	Efluente R.2	4	4,21	2,02	1,01	[2,23 ; 6,19]
Fósforo Solúvel (mg/L)	Afluente	9	5,95	1,55	0,52	[4,93 ; 6,96]
	Efluente R.1	5	2,15	1,21	0,54	[1,09 ; 3,21]
	Efluente R.2	5	2,65	1,67	0,75	[1,19 ; 4,12]

Na Tabela 5.10 verificou-se valores também típicos de concentrações de fósforo total e solúvel para o esgoto bruto e concentrações relativamente baixas nos efluentes, para este sistema de tratamento de esgotos sem unidades, ou fases, seletoras para este fim. Porém, são resultados característicos de sistemas de lodo ativado com aeração prolongada onde a concentração de SSV é elevada e

conseqüentemente a produção de lodo de excesso também, consumindo para isso o fósforo.

Figura 5.11 – Séries temporais de fósforo total do esgoto afluente e efluente da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.12 – Séries temporais de fósforo solúvel do esgoto afluente e efluente da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

As Figuras 5.11 e 5.12 ilustram a Tabela 5.10 e possibilitam verificar que a aplicação de fósforo pelo esgoto bruto tende a acompanhar a carga de DBO e DQO aplicada no sistema, como visto nas Figuras 5.3 e 5.4.

Os parâmetros OD, temperatura, pH e alcalinidade também foram medidos e apresentaram resultados típicos de esgoto doméstico e de lodo de sistema de tratamento de esgotos por lodo ativado com aeração prolongada. Na Tabela 5.11 foi possível verificar, através dos dados da temperatura, condições extremas para a região geográfica estudada, de clima tropical, confirmando o período medido de inverno.

Tabela 5.11 - Resultados dos parâmetros oxigênio dissolvido, temperatura, pH e alcalinidade do esgoto afluente, tratado e do lodo dos reatores biológicos da ETE Juitituba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Parâmetro	Ponto	n	Média	Desvio padrão	Erro padrão	Intervalo de confiança (95%)
OD (mg/L)	Lodo R.1	5	1,86	0,74	0,33	[1,21 ; 2,51]
	Lodo R.2	6	2,68	1,47	0,60	[1,50 ; 3,86]
Temperatura (°C)	Afluente	3	18,17	1,26	0,73	[16,74 ; 19,59]
	Lodo R.1	5	17,80	1,35	0,60	[16,62 ; 18,98]
	Lodo R.2	5	17,82	0,85	0,38	[17,08 ; 18,56]
	Efluente R.1	5	18,64	1,50	0,67	[17,32 ; 19,96]
	Efluente R.2	5	18,32	1,34	0,60	[17,15 ; 19,49]
pH	Afluente	8	7,06	0,20	0,07	[6,92 ; 7,19]
	Lodo R.1	8	6,54	0,34	0,12	[6,30 ; 6,77]
	Lodo R.2	7	6,60	0,47	0,18	[6,25 ; 6,94]
	Efluente R.1	7	6,75	0,15	0,06	[6,64 ; 6,86]
	Efluente R.2	8	6,82	0,18	0,06	[6,69 ; 6,94]
Alcalinidade (mg/L)	Afluente	8	211,88	51,27	18,13	[176 ; 247]
	Efluente R.1	8	51,88	22,26	7,87	[36,45 ; 67,30]
	Efluente R.2	8	60,38	37,66	13,31	[34,28 ; 86,47]

Os sistemas de lodo ativado com aeração prolongada exigem uma concentração mínima de OD de 1,5 mg/L (NBR-570), nos reatores biológicos, verificou-se tanto na Tabela 5.11, quanto na Figura, 5.13 que os dois reatores atenderam este requisito na sua maior parte do tempo.

Figura 5.13 – Séries temporais de OD do lodo dos reatores biológicos 1 e 2 da ETE Juitituba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.14 – Séries temporais de alcalinidade do esgoto afluente e tratado da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Verificou-se, ainda, que o esgoto afluente apresenta concentrações características de efluentes domésticos para o parâmetro alcalinidade e, o efluente tratado da ETE possui a alcalinidade típica de sistemas de lodo ativado com aeração prolongada. Porém, a fim de verificar a variação de alcalinidade teórica, de acordo com Van Haandel (1999), e compararmos com a variação real, realizou-se os seguintes cálculos: (1) segundo Van Haandel (1999) Δ alcalinidade total = $3,57 \times (\Delta N_{\text{Amoniacal}} - \Delta N_{\text{Nitrato}})$, sendo Δ alc. tot. = 149 mg/L e (2) a variação real medida de alcalinidade igual 155 mg/L. Verificou-se que com dados tão próximos existe a possibilidade de ter realmente ocorrido a desnitrificação no reator biológico.

O pH também apresentou uma queda do afluente para o lodo do reator biológico e uma recuperação no efluente tratado da estação.

Tabela 5.12 – Eficiências obtidas pela remoção dos parâmetros $\text{DBO}_{5,20}$, DQO, NKT, nitrogênio amoniacal, fósforo total e solúvel do esgoto afluente da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos (continua)

Parâmetro	Ponto	n	Média	Desvio padrão	Erro padrão	Intervalo de confiança (95%)
$\text{DBO}_{5,20}$	Efic R.1 (%)	5	90,40	5,26	2,35	[85,79 ; 95,01]
	Efic R.2 (%)	8	83,76	7,47	2,64	[78,59 ; 88,94]
DQO	Efic R.1 (%)	5	92,11	6,44	2,88	[86,47 ; 97,75]
	Efic R.2 (%)	9	87,13	5,47	1,82	[83,56 ; 90,71]
NKT	Efic R.1 (%)	5	91,51	5,03	2,25	[87,10 ; 95,91]
	Efic R.2 (%)	5	88,03	3,67	1,64	[84,81 ; 91,25]

Tabela 5.12 – Eficiências obtidas pela remoção dos parâmetros DBO_{5,20}, DQO, NKT, nitrogênio amoniacal, fósforo total e solúvel do esgoto afluyente da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos (conclusão)

Parâmetro	Ponto	n	Média	Desvio padrão	Erro padrão	Intervalo de confiança (95%)
N-amonia.	Efic R.1 (%)	10	94,04	6,91	2,19	[89,76 ; 98,32]
	Efic R.2 (%)	7	97,84	3,21	1,21	[95,46 ; 100,22]
Fósforo Total	Efic R.1 (%)	5	66,58	13,09	5,86	[55,11 ; 78,06]
	Efic R.2 (%)	4	52,34	22,50	11,25	[30,29 ; 74,39]
Fósforo Solúvel	Efic R.1 (%)	5	65,99	14,70	6,57	[53,11 ; 78,87]
	Efic R.2 (%)	5	55,21	28,64	12,81	[30,10 ; 80,31]

Figura 5.15 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de DBO_{5,20} do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.16 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de DQO do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Em análise à Tabela 5.12 e ainda verificado nas Figuras 5.15 e 5.16 as eficiências na remoção de DBO e DQO apresentaram-se superiores no reator biológico 1. Os dois reatores apresentaram boa eficiência, porém para o sistema de tratamento em questão seria esperado um melhor resultado de remoção destes parâmetros para o reator biológico 2. Os resultados apresentados nestas Figuras ilustram bem as condições de operação de lodo ativado com reatores sequenciais em bateladas, onde o aporte de “alimento” em cada reator biológico ocorre em tempos diferentes, conseqüentemente com concentrações diferentes.

Figura 5.17 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de NKT do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.18 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

A estação apresentou uma boa remoção de nitrogênio amoniacal, típico de sistemas de tratamento de esgotos por lodo ativado com aeração prolongada, até

uma considerável remoção de NKT, como ilustrado nas Figuras 5.17 e 5.18, além do esperado para este sistema sem unidade seletora para este fim.

Figura 5.19 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de fósforo total do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.20 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de fósforo solúvel do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

A remoção de fósforo do esgoto apresentou características típicas de sistema de tratamento em questão, onde deve ocorrer a captura do fósforo do afluente para a produção de lodo de excesso.

Os dados apresentados neste tópico permitiram verificar as condições de tratamento dos esgotos pela ETE Juquitiba, sendo dados coerentes com a teoria e literatura do processo de tratamento de esgotos domésticos por lodo ativado com aeração prolongada, e com reatores seqüenciais em bateladas.

5.4- Caracterização do esgoto bruto, tratado e do lodo do reator biológico da ETE, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

O período de identificação dos parâmetros referidos na metodologia da estação de tratamento de esgotos, após do início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos, está compreendido entre 2 de agosto e 15 dezembro de 2006.

Trata-se do período em que a estação de tratamento de esgotos foi operada, também em regime uniforme de operação com o controle da idade do lodo de 25 dias e que houve o aporte dos resíduos gerados pela estação de tratamento de água, via rede coletora de esgotos.

Com esta nova condição dos afluentes da ETE, verificaram-se alterações nos números relatados na condição apresentada anteriormente, sejam nas vazões, sejam nos parâmetros, então serão apresentados os dados deste último período pesquisado, com considerações em relação àqueles já descritos anteriormente.

Tabela 5.13 – Vazões de esgoto afluente à ETE Juquitiba nos períodos de 24 de maio à 26 de julho e 2 de agosto à 15 de novembro de 2006

	Vazão (m ³ /dia)	Vazão (m ³ /dia)
	Período: 24/05/06 à 26/07/06	Período: 02/08/06 à 15/11/06
Número de dados	59	61
Média	346	431
Desvio padrão	52	90
Mínimo	259	248
Máximo	521	758
Intervalo de confiança (95%)	[332 ; 359]	[408 ; 453]

O período em que foram registrados os dados de vazões da ETE nesta terceira etapa da pesquisa corresponde ao fim da seca ou “início das águas” quando ocorreram algumas chuvas. Porém não foi feito controle sobre esta grandeza, apenas anotações no caderno de campo.

Foram verificadas vazões bem definidas ao longo deste período como descrito na Tabela 5.13. Cinco datas sobressaíram à média deste período sendo os dias 18 e 19 de agosto com 706 m³ e 610 m³ respectivamente, os dias 3 e 19 de setembro com 758 m³ e 603 m³ respectivamente e o dia 14 de novembro de 2006 com 523 m³.

As datas de lavagem dos decantadores da estação de tratamento de água neste período da pesquisa ou seja lançando os resíduos da ETA na rede coletora de esgotos foram 18 de agosto, 17 de setembro e 18 de outubro de 2006. No entanto apenas foi registrado pelo medidor de vazões da ETE a vazão do dia 18 de agosto, sendo que nos outros dois dias o equipamento falhou. Ainda assim foi possível verificar que existiu um acréscimo de vazão no dia 18 de agosto, na ETE, de 275 m³ acima da média deste novo período, quando era esperado um acréscimo de 256 m³ devido o procedimento de lançamento dos resíduos de limpeza dos decantadores da ETA na rede coletora de esgotos.

Tabela 5.14 – Resultados dos parâmetros DBO_{5,20} e DQO do esgoto afluente e tratado da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Parâmetro	Ponto	n	Média	Desvio padrão	Erro padrão	Intervalo de confiança (95%)
DBO _{5,20} (mg/L)	Afluente	6	331,00	106,08	5,83	[319 ; 342]
	Efluente R.1	5	50,60	20,62	2,90	[44,92 ; 56,28]
	Efluente R.2	4	47,00	9,59	1,40	[44,26 ; 49,74]
DQO (mg/L)	Afluente	7	622,00	107,23	4,30	[613 ; 630]
	Efluente R.1	6	88,67	38,47	4,09	[80,66 ; 96,67]
	Efluente R.2	7	83,00	51,78	5,68	[71,86 ; 94,14]

Nesta etapa da pesquisa foi possível verificar uma sensível diminuição tanto na DBO quanto na DQO afluente como apresentado na Tabela 5.14. Comparando com os dados do período anterior sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos, Tabela 5.7, os resultados indicam uma diluição do esgoto afluente devido o aumento de sua vazão.

No que diz respeito ao efluente tratado da estação, verificou-se uma diminuição na qualidade do efluente do reator 1 e uma sensível melhora na qualidade do efluente do reator 2. Porém no caso do reator 2 os intervalos de confiança se sobrepõem indicando que não houve alteração.

Figura 5.21 – Séries temporais de DBO_{5,20} do esgoto afluente e efluente da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.22 – Séries temporais de DQO do esgoto afluente e efluente da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

As Figuras 5.21 e 5.22 ilustram os resultados dos parâmetros DBO_{5,20} e DQO e possibilitam verificar que existiu uma uniformidade entre os resultados dos efluentes dos dois reatores biológicos, quando comparado com o período anterior.

As Figura 5.23 e 5.24 são diagramas “box-plot” dos resultados de DBO_{5,20}, sendo apresentado na Figura 5.23 os diagramas referentes ao primeiro período, sem lançamento de lodo da ETE no sistema de esgotos e, na Figura 5.24, os diagramas referentes ao segundo período, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos. Assim, evidencia-se eventuais diferenças entre os dois períodos.

Figura 5.23 – Diagrama “Box-plot” de $DBO_{5,20}$ do esgoto bruto e tratado da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.24 – Diagrama “Box-plot” de $DBO_{5,20}$ do esgoto bruto e tratado da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Pelas Figuras 5.23 e 5.24 verificou-se que não houvera alterações nas concentrações de $DBO_{5,20}$ dos efluentes dos reatores 1 e 2, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Tabela 5.15 - Resultados dos parâmetros sólidos em suspensão totais, voláteis e fixos do esgoto afluente, tratado e do lodo dos reatores biológicos da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Parâmetro	Ponto	n	Média	Desvio padrão	Erro padrão	Intervalo de confiança (95%)
SST (mg/L)	Afluente	8	335	139,33	7,61	[320 ; 350]
	Lodo R.1	8	2.853	652,25	12,21	[2829 ; 2877]
	Lodo R.2	8	3.417	277,88	4,75	[3408 ; 3426]
	Efluente R.1	8	68	32,17	3,89	[60,88 ; 76,12]
	Efluente R.2	6	66	66,93	8,20	[50,60 ; 82,73]
SSV (mg/L)	Afluente	8	226	93,44	6,21	[214 ; 238]
	Lodo R.1	8	1.935	412,38	9,37	[1916 ; 1953]
	Lodo R.2	8	2.292	139,23	2,91	[2286 ; 2298]
	Efluente R.1	8	53	21,14	2,90	[47,31 ; 58,69]
	Efluente R.2	6	48	45,96	6,61	[35,38 ; 61,29]
SSF (mg/L)	Afluente	8	102	70,49	6,96	[88,85 ; 116,15]
	Lodo R.1	8	918	261,50	8,63	[901 ; 935]
	Lodo R.2	8	1.125	154,89	4,62	[1115 ; 1134]
	Efluente R.1	8	15	13,43	3,41	[8,82 ; 22,18]
	Efluente R.2	6	18	21,11	4,93	[8,67 ; 27,99]

A partir da Tabela 5.15, verificou-se as novas relações SSV/SST do lodo os reatores biológicos 1 e 2 sendo 0,68 e 0,67, respectivamente, apresentando-se para o reator 1 o mesmo resultado que aquele obtido antes do lançamento do lodo da ETA na ETE e para o reator 2, um resultado 8% menor nesta nova situação que o obtido anteriormente. A relação SSV/SST obtida para o esgoto bruto foi de 0,67 apresentando a diminuição de 17,3% em relação ao resultado obtido antes do lançamento do lodo da ETA na ETE.

A carga de sólidos em suspensão total aplicada na ETE na situação antes do início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos foi de 112 Kg.SST/dia (calculado pela vazão e concentração, Tabelas 5.6 e 5.8). Na situação seguinte foi de 144 Kg.SST/dia (calculado pela vazão e concentração, Tabelas 5.13 e 5.15). Portanto, ocorreu um acréscimo de 32 Kg de SST aplicado na ETE pelo esgoto bruto por dia.

O mesmo cálculo foi realizado para a aplicação de SSV na ETE com os seguintes resultados: 91 Kg.SSV /dia antes e 97 Kg.SSV /dia depois, também para SSF os seguintes resultados: 21 Kg.SSF /dia antes e 44 Kg.SSF /dia depois,

apresentando-se os respectivos acréscimos destes sólidos do período antes do lançamento do lodo da ETA na ETE para o período depois de 6 Kg.SSV /dia e 23 Kg.SSF /dia.

A relação SSV/SST do lodo da ETA é igual à 0,3 Kg.SSV/Kg.SST aproximadamente (Tabela 5.5) e se aplicada ao acréscimo encontrado de 32 Kg.SST/dia, tem-se 9 Kg.SSV/dia e 22 Kg.SSF/dia. Tais valores são muito próximos aos valores obtidos anteriormente de 6 kg.SSV/dia e 23 Kg.SSF/dia.

Com isso admitiu-se que foi realizada efetivamente a aplicação de 32 Kg.SST/dia na ETE devido aos procedimentos de lavagem das unidades da ETA com lançamento de seus resíduos no sistema de esgoto. Ou ainda 74 mg de lodo de ETA por litro de esgoto.

Figura 5.25 – Séries temporais de sólidos em suspensão totais do lodo dos reatores biológicos 1 e 2 da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.26 – Séries temporais de sólidos em suspensão voláteis do lodo dos reatores biológicos 1 e 2 da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.27 – Séries temporais de sólidos em suspensão fixos do lodo dos reatores biológicos 1 e 2 da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Fazendo-se uma análise com as Tabelas 5.13, 5.14 e 5.15 e, sabendo o volume dos reatores quando cheios (900 m^3) verificou-se a relação alimento/microrganismo (A/M) considerando a média da concentração de sólidos em suspensão voláteis dos dois reatores sendo $A/M = 0,075 \text{ Kg DBO}_{5,20}/\text{Kg SSVTA.dia}$, ou ainda, $A/M = 0,141 \text{ Kg DQO}/\text{Kg SSVTA.dia}$, então, não sendo observadas alterações em relação ao período anterior.

A produção de lodo pela estação pode ser calculada pelo produto da vazão de lodo de excesso pela concentração de sólidos deste lodo, somado a vazão de efluente tratado pela concentração de sólidos neste efluente. Com os dados de vazão da Tabela 5.13 e das concentrações de sólidos da Tabela 5.15, obteve-se a produção de lodo de excesso de $77,1 \text{ Kg/dia}$. Nota-se que ocorreu um acréscimo de sólidos produzidos pelo sistema de $22,6 \text{ Kg/dia}$ após o início do lançamento do lodo da ETA na ETE, comparado com a situação anterior. A aplicação do lodo de ETA no sistema de esgoto significou um aumento na produção de sólidos pela ETE de 40%.

Tabela 5.16 - Resultados dos parâmetros NKT e nitrogênio amoniacal do esgoto afluyente e tratado da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Parâmetro	Ponto	n	Média	Desvio padrão	Erro padrão	Intervalo de confiança (95%)
NKT (mg/L)	Afluyente	7	71,35	4,66	0,55	[70,27 ; 72,43]
	Efluyente R.1	7	18,86	9,22	2,12	[14,70 ; 23,02]
	Efluyente R.2	5	18,48	14,97	3,48	[11,65 ; 25,31]
N-Amoniacal (mg/L)	Afluyente	7	47,16	7,56	1,10	[45,00 ; 49,32]
	Efluyente R.1	6	8,93	7,22	2,42	[4,19 ; 13,66]
	Efluyente R.2	6	6,85	5,20	1,99	[2,96 ; 10,75]

Neste período de análises não foram realizadas análises de nitrato, como explicado no tópico anterior.

Figura 5.28 – Séries temporais de NKT do esgoto afluyente e efluyente da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.29 – Séries temporais de nitrogênio amoniacal dos esgotos afluyente e efluyente da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Na Tabela 5.16 verificou-se um valor da concentração de NKT do afluente o qual manteve-se dentro da faixa medida na situação anterior ao lançamento do lodo da ETA no sistema de esgoto (Tabela 5.9) e valores das concentrações de NKT dos efluentes na ordem de 2,4 vezes maior que os obtidos na situação anterior.

Para o nitrogênio amoniacal verificou-se uma concentração no afluente também na mesma faixa que aquela medida anteriormente e nos efluentes a concentração do nitrogênio amoniacal aumentou da situação antes para após o início do lançamento do lodo da ATA no sistema de esgotos na ordem de 4,7 vezes.

As Figuras 5.28 e 5.29 possibilitam verificar que as concentrações de NKT e dos efluentes dos reatores biológicos sofreram um aumento em relação ao período anterior.

Figura 5.30 – Diagrama “Box-plot” de NKT do esgoto bruto e tratado da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.31 – Diagrama “Box-plot” de NKT do esgoto bruto e tratado da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Nas Figuras 5.30 e 5.31 verificou-se que houve uma diminuição da concentração de nitrogênio total Kjeldhal do esgoto bruto no segundo período. Verificou-se também que existiu o aumento da concentração de nitrogênio total nos efluentes da ETE no segundo período.

Figura 5.32 – Diagrama “Box-plot” de nitrogênio amoniacal do esgoto bruto e tratado da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.33 – Diagrama “Box-plot” de nitrogênio amoniacal do esgoto bruto e tratado da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Nas Figuras 5.32 e 5.33 verificou-se que não houve alteração nas concentrações de nitrogênio amoniacal do esgoto bruto do primeiro para o segundo período. Porém verificou-se que existiu o aumento das concentrações de nitrogênio amoniacal dos efluentes da ETE após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.

Os parâmetros fósforo total e fósforo solúvel foram aqueles que apresentaram diferenças mais marcantes entre o primeiro período (antes do início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos) e o segundo período (após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos).

Tabela 5.17 - Resultados dos parâmetros fósforo total e solúvel do esgoto afluyente e tratado da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Parâmetro	Ponto	n	Média	Desvio padrão	Erro padrão	Intervalo de confiança (95%)
Fósforo Total (mg/L)	Afluyente	7	7,14	1,22	0,46	[6,24 ; 8,04]
	Efluyente R.1	6	2,12	0,68	0,47	[1,20 ; 3,03]
	Efluyente R.2	6	2,06	1,57	1,09	[-0,08 ; 4,20]
Fósforo Solúvel (mg/L)	Afluyente	7	4,09	1,26	0,62	[2,87 ; 5,31]
	Efluyente R.1	6	0,55	0,49	0,66	[-0,74 ; 1,85]
	Efluyente R.2	7	0,54	1,01	1,37	[-2,15 ; 3,23]

A concentração de fósforo total do esgoto bruto foi de 7,14 mg.P/L neste período pesquisado (Tabela 5.17) ante 8,92 mg.P/L encontrado no período anterior (Tabela 5.10), houve uma diminuição de 20% nesta concentração. A concentração de fósforo total obtida nos efluentes da estação após o lançamento do lodo da ETA na ETE foram 2,12 e 2,06 mg.P/L para os reatores 1 e 2 respectivamente. Foi verificado que ocorreu uma diminuição nas concentrações de fósforo total da situação antes para a situação depois do lançamento do lodo de ETA na ETE de 29% e 51% para os reatores 1 e 2 respectivamente.

Figura 5.34 – Séries temporais de fósforo total do esgoto afluyente e efluyente da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.35 – Séries temporais de fósforo solúvel do esgoto afluente e efluente da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

O parâmetro fósforo solúvel apresentou resultados referentes a sua concentração no esgoto bruto de 4,09 mg.P/L neste segundo período (Tabela 5.17) e uma concentração de 5,95 mg.P/L no período anterior (Tabela 5.10), verificando assim uma diminuição de 31% na concentração de fósforo solúvel nos esgotos após o lançamento do lodo de ETA na ETE via rede coletora de esgotos.

As concentrações de fósforo solúvel obtidas a partir dos efluentes dos reatores 1 e 2 após o início do lançamento do lodo da ETA na ETE foram 0,55 mg.P/L e 0,54 mg.P/L respectivamente. Comparados com os valores obtidos antes do lançamento do lodo da ETA na ETE (Tabela 5.10), verificou que a concentração deste parâmetro no efluente diminuiu 74% para o reator 1 e 79% para o reator 2 após o início do lançamento do lodo de ETA no sistema de esgoto.

As Figuras 5.34 e 5.35 ilustram a distribuição dos resultados ao longo do período pesquisado e nelas tem uma informação que chama a atenção: trata-se do primeiro dado de fósforo total e solúvel dos efluentes dos reatores 1 e 2.

Eles indicam concentrações iguais às médias dos resultados encontrados no período anterior e somente após este dia encontrou-se concentrações típicas deste segundo período. É importante lembrar que inicialmente o lançamento dos resíduos na rede coletora de esgotos se deu devido a lavagem dos filtros e a descarga rápida diária de fundo dos decantadores. A introdução deste resíduo nos reatores foi lenta e gradativa até que no dia 18 de agosto houve a primeira lavagem dos decantadores por completo com seus resíduos sendo lançados na rede coletora de esgotos.

Figura 5.36 – Diagrama “Box-plot” de fósforo total do esgoto bruto e tratado da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.37 – Diagrama “Box-plot” de fósforo total do esgoto bruto e tratado da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Nas Figuras 5.36 e 5.37 verificou-se a diminuição da concentração do fósforo total do esgoto bruto após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos. Verificou-se também a diminuição da concentração deste parâmetro nos efluentes dos reatores neste segundo período.

Figura 5.38 – Diagrama “Box-plot” de fósforo solúvel do esgoto bruto e tratado da ETE Juquitiba, sem o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.39 – Diagrama “Box-plot” de fósforo solúvel do esgoto bruto e tratado da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Nas Figuras 5.38 e 5.39 verificou-se a diminuição da concentração do fósforo solúvel do esgoto bruto após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos. Verificou-se também a diminuição da concentração deste parâmetro nos efluentes dos reatores neste segundo período.

Tanto para o fósforo total, quanto para o fósforo solúvel, foi verificado a diminuição das concentrações no esgoto bruto e no efluente tratado. Para o esgoto bruto é importante ressaltar que além do caminhamento do lodo da ETA pela rede coletora de esgotos, existe uma estação elevatória de esgotos “final”, antes destes chegarem à ETE, ou seja, todo esgoto que chega à ETE passa por esta elevatória tornando grande o contato do lodo da ETA com os esgotos antes de chegada na ETE.

Tabela 5.18 - Resultados dos parâmetros oxigênio dissolvido, temperatura, pH e alcalinidade dos esgotos afluente, tratado e do lodo dos reatores biológicos da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Parâmetro	Ponto	n	Média	Desvio padrão	Erro padrão	Intervalo de confiança (95%)
OD (mg/L)	Lodo R.1	5	3,95	2,36	1,19	[1,63 ; 6,28]
	Lodo R.2	3	2,27	1,53	1,01	[0,28 ; 4,26]
Temperatura (°C)	Afluente	4	19,50	3,00	0,68	[18,17 ; 20,83]
	Lodo R.1	6	20,17	2,48	0,55	[19,08 ; 21,25]
	Lodo R.2	6	21,17	2,32	0,50	[20,18 ; 22,15]
	Efluente R.1	6	20,42	2,29	0,51	[19,42 ; 21,41]
	Efluente R.2	5	19,80	2,05	0,46	[18,90 ; 2,70]
pH	Afluente	6	7,17	0,30	0,11	[6,95 ; 7,39]
	Lodo R.1	5	6,67	0,20	0,08	[6,51 ; 6,82]
	Lodo R.2	6	6,82	0,26	0,10	[6,62 ; 7,01]
	Efluente R.1	6	6,73	0,23	0,09	[6,55 ; 6,90]
	Efluente R.2	6	6,66	0,22	0,08	[6,50 ; 6,83]
Alcalinidade (mg/L)	Afluente	7	188,29	27,04	1,97	[184 ; 192]
	Efluente R.1	7	83,29	56,59	6,20	[71,13 ; 95,44]
	Efluente R.2	7	67,31	36,49	4,45	[58,60 ; 76,03]

Verificou-se com os dados da Tabela 5.18 que a concentração média de oxigênio dissolvido no lodo do reator biológico 1 foi igual à 3,95 mg.OD/L. Isto representa 1,12 vezes maior que a concentração obtida no mesmo reator no período anterior ao lançamento do lodo da ETA na ETE (Tabela 5.11). Já a concentração de OD no reator 2 obtida neste segundo período foi de 2,27 mg.OD/L, o mesmo parâmetro medido antes do lançamento do lodo da ETA na ETE foi de 2,68 mg.OD/L, com isso verificou-se que houve uma redução de 15% de OD neste reator.

As temperaturas apresentaram um aumento da ordem de 2 °C neste segundo período, se comparado com os dados do primeiro período pesquisado. Foi verificada que ocorreu a manutenção do pH no sistema ao longo dos dois períodos, uma vez que os resultados obtidos nos primeiro e segundo períodos apresentam intersecções em todos respectivos intervalos de confiança.

A concentração de alcalinidade do esgoto bruto obtida após o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos foi de 188,29 mg/L (Tabela 5.18) e a concentração medida antes disso foi de 211,88 mg/L (Tabela 5.11). Aparentemente ocorreu uma diminuição da concentração de alcalinidade no esgoto devido o contato

com o lodo da ETA, porém deve ser considerado ao mesmo tempo ocorreu o aumento da vazão de esgoto (Tabela 5.13), seja pelo aporte de lodo de ETA no sistema, seja pela infiltração de água de chuva, as quais ocorreram com maior frequência no segundo período. Em termos de massa, no período antes do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos aplicou-se 73 Kg de alcalinidade na ETE através do esgoto bruto e no período seguinte, aplicou-se 81 kg de alcalinidade na ETE.

Nos efluentes da ETE obtiveram-se as concentrações de alcalinidade de 51,88 mg/L e 60,38 mg/L para os reatores 1 e 2 respectivamente, após o lançamento do lodo da ETA na ETE (Tabela 5.18). Estes resultados são 60% e 11,5% maiores que aqueles obtidos antes do lançamento do lodo da ETA na ETE (Tabela 5.11), para os reatores 1 e 2 respectivamente.

Nesta etapa da pesquisa não foi realizada a comparação entre a variação de alcalinidade teórica e a variação real devido a falta dos dados de concentrações de nitrato.

Figura 5.40 – Séries temporais de oxigênio dissolvido do lodo dos reatores 1 e 2 da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.41 – Séries temporais de alcalinidade dos efluentes da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

No dia 13 de setembro de 2006 encerrou-se a medição do oxigênio dissolvido nos reatores biológicos devido o encaminhaemento do aparelho oxímetro para manutenção, chegou-se no final do período das análises sem o retorno do aparelho.

Quanto aos dados de alcalinidade, verificou-se uma pequena diminuição de sua concentração no esgoto bruto neste período (após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos) se comparado com o período anterior. Verificou-se o aumento de alcalinidade no efluente tratado da estação.

Tabela 5.19 – Eficiência obtida pela remoção dos parâmetros DBO_{5,20}, DQO, nitrogênio total e amoniacal, fósforo total e solúvel do esgoto afluente e tratado da ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Parâmetro	Ponto	n	Média	Desvio padrão	Erro padrão	Intervalo de confiança (95%)
DBO _{5,20}	Efic R.1 (%)	5	83,78	7,63	0,83	[82,15 ; 85,42]
	Efic R.2 (%)	3	84,64	6,36	0,69	[83,29 ; 86,00]
DQO	Efic R.1 (%)	6	84,78	7,12	0,77	[83,26 ; 86,29]
	Efic R.2 (%)	7	86,68	7,46	0,80	[85,11 ; 88,25]
NKT	Efic R.1 (%)	7	73,07	14,07	1,65	[69,84 ; 76,29]
	Efic R.2 (%)	5	73,78	20,35	2,37	[69,13 ; 78,42]
N-amonia.	Efic R.1 (%)	6	81,03	16,86	1,87	[77,35 ; 84,70]
	Efic R.2 (%)	6	85,64	10,86	1,17	[83,35 ; 87,94]
Fósforo Total	Efic R.1 (%)	6	70,29	12,12	1,45	[67,45 ; 73,12]
	Efic R.2 (%)	6	69,78	25,26	3,02	[63,85 ; 75,70]
Fósforo Solúvel	Efic R.1 (%)	6	87,27	11,94	1,28	[84,77 ; 89,78]
	Efic R.2 (%)	7	85,56	28,66	3,10	[79,48 ; 91,63]

Figura 5.42 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de DBO_{5,20} do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Foi verificado na Tabela 5.19 que o sistema de tratamento atingiu a eficiência na remoção média de 83,78% de DBO para o reator 1 e 84,64% de DBO para o reator dois, após o início do lançamento da lodo da ETA no sistema de tratamento de esgotos. Quando comparado com as remoções atingidas pelo sistema antes do lançamento do lodo da ETA na ETE (Tabela 5.12), verificou-se a queda de 7% e 1% para os reatores 1 e 2 respectivamente.

Figura 5.43 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de DQO do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Para as eficiências nas remoções de DQO pelos reatores 1 e 2 da ETE, verificaram-se as mesmas alterações ocorridas com a DBO, uma diminuição de 8% e 1% para os reatores 1 e 2 respectivamente, nas remoções ocorridas do primeiro pêra o segundo período pesquisado (Tabelas 5.12 e 5.19).

Figura 5.44 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de NKT do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Figura 5.45– Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal do esgoto bruto pela ETE Juquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Nos diagramas das Figuras 5.44 e 5.45 verificou-se que houve a remoção de NKT e nitrogênio amoniacal do esgoto bruto pela ETE neste período, os quais apresentaram valores médios de 73% e 83% respectivamente (Tabela 5.19). Porém comparando com os dados de eficiência de remoção de NKT e N-NH_3 do período anterior (Tabela 5.12), verificou-se a diminuição média entre os dois reatores em 18% e 13% respectivamente após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.

Figura 5.46 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de fósforo total do esgoto bruto pela ETE Jquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

Os resultados obtidos dos parâmetros fósforo total após o início do lançamento do lodo de ETA na ETE levaram à eficiência na remoção de 70% tanto para o reator 1 quanto para o reator 2 (Tabela 5.19). Quando comparado esta eficiência com aquelas obtidas antes do lançamento do lodo da ETA na ETE, 67% e 52% de remoção de fósforo total para os reatores 1 e 2 respectivamente (Tabela 5.12), verificou-se um aumento na remoção de fósforo total em 6% para o reator 1 e 33% para o reator 2.

Figura 5.47 – Diagrama “box-plot” da eficiência de remoção de fósforo solúvel do esgoto bruto pela ETE Jquitiba, após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos

O parâmetro fósforo solúvel após o início do lançamento do lodo de ETA na ETE apresentou a eficiências na remoção de 86% para os reatores 1 e 2 (Tabela 5.19). Quando comparado este resultado com aqueles obtidos antes do lançamento

do lodo da ETA na ETE, 66% e 50 % de remoção de fósforo solúvel para os reatores 1 e 2 respectivamente (Tabela 5.12), verificou-se um aumento na eficiência da remoção de fósforo total em 32% e 70% para os reatores 1 e 2 respectivamente.

6- Conclusões e recomendações

1- A estação de tratamento de água objeto deste estudo atende a uma população quatro vezes maior que a estação de tratamento de esgoto. A ETA produz resíduos que resultariam em um acréscimo médio de 133 mg/L de sólidos no esgoto, porém, atingiu-se apenas um acréscimo médio de 74 mg/L de sólidos no esgoto devido à impossibilidade técnica de descarga total dos resíduos da ETA no sistema de esgotos. Ainda assim, tal contribuição representa, aproximadamente, uma situação em que o porte da ETA é o dobro da ETE receptora dos resíduos.

2- O processo de lodo ativado controlado pela idade do lodo de 25 dias trabalhava com a concentração média de 2600 mg/L de SST no reator 1 e 2850 mg/L de SST no reator 2 antes do aumento de iniciar o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos. Após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos as concentrações de SST estabilizaram-se em 2850 e 3400 mg/L , respectivamente.

3- A produção de lodo de excesso no sistema de tratamento de esgoto aumentou em 40% em massa. Produzia-se 54,55 kg de sólidos por dia antes do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgoto e, após, passou-se a produzir 77,1 Kg de sólidos por dia. Portanto, caso o porte da ETA fosse da mesma ordem de grandeza do porte da ETE, o acréscimo na produção de lodo a ser descartado seria de 20%, aproximadamente.

4- As eficiências de remoção dos parâmetros DBO e DQO mostraram-se 4%, em média, menores após o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.

5- As concentrações de sólidos em suspensão totais do efluente final sofreu um aumento de 73% após o início do lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos. Apesar de que apresentaram valores pequenos em ambas as situações: 41 mg.SST/L antes e 67 mg.SST/L após o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos.

6- O lançamento do lodo da ETA no sistema de esgoto implicou na diminuição da remoção média de NKT em 18% e na remoção média de N-NH_3 em 13%. Antes deste lançamento, o sistema removia 96% de amônia e passou a remover, após o lançamento 83%.

7- A concentração de fósforo total no esgoto bruto apresentou uma diminuição de 20% e a concentração de fósforo solúvel, uma diminuição de 31% com o lançamento do lodo da ETA no sistema de esgotos. Além do efeito de diluição, pode ter ocorrido alguma forma de interação entre o lodo da ETA e o fósforo solúvel.

8- Ocorreu uma diminuição nas concentrações de fósforo total do efluente dos reatores 1 e 2 da situação antes para a situação depois do lançamento do lodo de ETA no sistema de esgotos (de 29% e 51%, respectivamente).

9- Ocorreu uma diminuição nas concentrações de fósforo solúvel do efluente dos reatores 1 e 2 da situação antes para a situação depois do lançamento do lodo de ETA no sistema de esgotos (de 74% e 79%, respectivamente).

10- Como conclusão final, pode ser dito que os sistemas de tratamento de esgotos pelo processo de lodo ativado com aeração prolongada operando sob o regime de bateladas seqüenciais são adequados para o recebimento de lodo proveniente de estações de tratamento de água, desde que seja projetada para atender a essa função complementar, especialmente no que se refere às unidades de desidratação de lodo.

Recomenda-se que estudos semelhantes sejam conduzidos com a descarga de lodo de estação de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto por outros processos. Recomenda-se adicionalmente que os efeitos sobre as transformações do nitrogênio nos reatores biológicos e os efeitos sobre a remoção de fósforo sejam avaliados de forma mais pormenorizada.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR – 10.004. Resíduos Sólidos**, ABNT, São Paulo, 1987.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. American Water Works Association. Water Environment Federation. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 18. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 1995. 1268 p.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. American Water Works Association. **Management of water treatment plant residuals**: technology transfer handbook. New York, N.Y.; Denver, CO: American Society of Civil Engineers: American Water Works Association, c1996. xxv, 294 p. (ASCE manuals and reports of engineering practice, n. 88).

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION RESEARCH FOUNDATION. **Slib, schlamm, sludge**. Denver, CO; [Nieuwegein, Netherlands]: AWWA Research Foundation: Keuringsinstituut voor Waterleidingartikelen, 1990. vii, 308 p.

ANDREOLI, C. V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento**: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2001. xxiv, 257 p. (Projeto PROSAB).

_____. **Lodo de esgotos**: tratamento e disposição final. Belo Horizonte; Curitiba: DESA/UFGM: SANEPAR, 2001. 483 p.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: resíduos sólidos. São Paulo, 1987. 62 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 mar. 2005.

CARVALHO, E. H. de. **Disposição de resíduos gerados nas estações de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto com decantação primária**. 2000. 171 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

CINTRA FILHO, O. A. O gerenciamento de lodo de ETA no município de Franca. In: WORKSHOP: QUALIDADE DA ÁGUA E O GERENCIAMENTO DE LODO DE

ETA'S, 3., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2004.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DE SÃO PAULO. Diretoria de Sistemas Regionais. Superintendência de Gestão e Desenvolvimento Operacional de Sistemas Regionais. Departamento de Controle Sanitário e Ambiental. **Tratamento e disposição final do lodo de estação de tratamento de água.** São Paulo, 2003.(Relatório interno).

CORDEIRO, J. S. **O problema do lodo gerado em decantadores de estações de tratamento de água.** 1993 Tese (Doutorado) - Escola Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

CORNWELL, D. A. et al. **Water treatment plant waste management.** Denver, Co.: AWWA Research Foundation, 1987. xx, 459 p.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** Rio de Janeiro: ABES, 1993. 2 v.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Center for Environmental Research Information. **Sequencing batch reactors:** summary report. Cincinnati; EPA; 1986. 23 p. (EPA/625/8-86/011).

FERREIRA FILHO, S. S. **Concepção de ETA e produção de lodo I.** São Paulo: EPUSP, 2005. Material de aula. Departamento de Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

_____.; ALEM SOBRINHO, P. Considerações sobre o tratamento de despejos líquidos gerados em estações de tratamento de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 3/4, p. 128-136, jul/dez. 1998.

JANUÁRIO, G. F. **Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos de estações de tratamento de água da região metropolitana de São Paulo.** 2005. 222 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 4. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 932 p.

MAGALHÃES, M. N. **Noções de probabilidade e estatística**. 6. ed. São Paulo: EDUSP, 2005. 392 p.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4th ed. Boston; London: McGraw-Hill, c2003. xxviii, 1819 p.

PARSEKIAN, M. P. S. **Análise e proposta de formas de gerenciamento de estações de tratamento de água de abastecimento**. 1998. 183 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

PIVELI, R. P. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES, 2005. 285 p.

REALI, M. A. P. (Coord.). **Noções gerais de disposição final de lodo de estações de tratamento de água**. Rio de Janeiro: PROSAB, c1999. xiv, 225 p.

REIS, E. L. T.; COTRIM, M. E.; FILHO, O. B.; SOUZA, A. L. F.; AMALFI, P. Z.; RODRIGUES, C.; PIRES, M. A. F. **Sludge characterization from a water treatment plant on Ribeira do Iguape river by inductively coupled plasma optical emission Spectrometry Proceedings:8TH**, Rio Symposium on Atomic Spectrometry, Parati, RJ. Ago, 2004.

REIS, E. L. T. **Abordagem Sistêmica do Sistema de Tratamento de Água de Registro, São Paulo, com Ênfase na Avaliação do Impacto do Descarte dos Resíduos na Bacia Hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape**. Tese (Doutorado) – IPEN/USP, 2005.

SCALIZE, P. S. **Disposição de resíduos gerados em estações de tratamento de água em estações de tratamento de esgoto**. 2003. 146 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Visão geral da prestação de serviços de água e esgotos- 2002**: um extrato do diagnóstico dos serviços de água e esgotos. Brasília: Programa de Modernização do Setor Saneamento, 2004. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/visao_2002.htm>.

VAN HAANDEL, A.; MARAIS, G. **O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projeto e operações**. Campina Grande, PB: Universidade Federal da Paraíba, 1999. 472 p.

VAZOLLER, R. F. **Microbiologia de lodos ativados**. São Paulo: CETESB, 1989. 23 p. (Série manuais. Secretaria do Meio Ambiente).

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. rev. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1996. v. 1.

_____. **Lodos ativados**: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 2. ed. ampl. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2002. v. 4.

Anexo1 – Dados das caracterizações físico-químicas

DBO			
Data	Afluentes	Efluente R.1	Efluente R.2
24/5/2006			
31/5/2006	551		115
7/6/2006	420		18
14/6/2006	491	44	21
21/6/2006	354		71
28/6/2006	277	49	58
5/7/2006	364	41	70
12/7/2006	259	12	57
19/7/2006	312	17	
26/7/2006	296		54

DQO			
Data	Afluentes	Efluente R.1	Efluente R.2
24/5/2006	733	28	40
31/5/2006	700		101
7/6/2006	900		160
14/6/2006	875	65	61
21/6/2006	646		93
28/6/2006	545	103	111
5/7/2006	893	58	166
12/7/2006	714	20	64
19/7/2006	634		
26/7/2006	543		48

OD		
Data	Lodo R.1	Lodo R.2
24/5/2006		
31/5/2006		
7/6/2006		1,2
14/6/2006	0,79	2,91
21/6/2006	2,2	3,2
28/6/2006	2,8	5,12
5/7/2006		
12/7/2006	1,61	2,49
19/7/2006		
26/7/2006	1,9	1,15

Temperatura				
Data	Afluente	Lodo 1	Lodo 2	Efluente R.1
24/5/2006				
31/5/2006				
7/6/2006				
14/6/2006			18,7	18,7
21/6/2006		18,5	18	18,1
28/6/2006		16	16,4	16,4
5/7/2006		17	18	20
12/7/2006	19,5	19,5		20
19/7/2006	18	18		
26/7/2006	17		18	

pH					
Data	Afluente	Lodo 1	Lodo 2	Efluente R.1	Efluente R.2
24/5/2006					
31/5/2006	7,39	6,48	7,2	6,47	7,06
7/6/2006					
14/6/2006	7	6,28	5,7	6,9	6,62
21/6/2006	7,1	6,2	6,61	6,7	6,67
28/6/2006	7,01	6,1	6,42	6,8	6,9
5/7/2006	7,23	6,88	6,74	6,77	6,76
12/7/2006	6,74	6,97	6,9	6,68	6,6
19/7/2006	6,9	6,5			7
26/7/2006	7,08	6,9	6,6	6,91	6,92

Alcalinidade			
Data	Afluente	Efluente R.1	Efluente R.2
24/5/2006	188	21	39
31/5/2006	167	99	148
7/6/2006			
14/6/2006	220	56	73
21/6/2006	256	46	33
28/6/2006	195	42	37
5/7/2006	302	41	44
12/7/2006	227	53	54
19/7/2006			
26/7/2006	140	57	55

SST					
Data	Afluente	Lodo R.1	Lodo R.2	Efluente R.1	Efluente R.2
24/5/2006	352		2676	20	28
31/5/2006	240	2760			32
7/6/2006	332	1912			28
14/6/2006	360	2036		32	16
21/6/2006	360	2148			60
28/6/2006		3036	2796	120	68
5/7/2006	352	2768	2416	36	84
12/7/2006	200	3100	2940	16	44
19/7/2006	276	2964	3220	8	
26/7/2006	452	2700	3040		44

SSV					
Data	Afluente	Lodo R.1	Lodo R.2	Efluente R.1	Efluente R.2
24/5/2006	300		2016	20	24
31/5/2006	208	2040			32
7/6/2006	280	1444			28
14/6/2006	300	1548		32	16
21/6/2006	300	1608			60
28/6/2006		2032	2224	80	48
5/7/2006	296	1760	1932	32	76
12/7/2006	160	1760	2060	4	36
19/7/2006	224	1816	2196	8	
26/7/2006	308	1852	2148		36

SSF					
Data	Afluentes	Lodo R.1	Lodo R.2	Efluente R.1	Efluente R.2
24/5/2006	52		660		4
31/5/2006	32	720			
7/6/2006	52	468			
14/6/2006	60	488			
21/6/2006	60	540			
28/6/2006		1004	572		20
5/7/2006	56	1008	484	4	8
12/7/2006	40	1340	880	12	8
19/7/2006	52	1148	1024		
26/7/2006	144	848	892		8

Nitrogênio Total			
Data	Afluentes	Efluente R.1	Efluente R.2
24/5/2006	75		
31/5/2006	60,5		
7/6/2006	84		
14/6/2006	75,6	11,4	
21/6/2006	96,32		8,96
28/6/2006	72,24	8,96	10,64
5/7/2006	109,2	7,28	11,2
12/7/2006	77,84	3,9	6,7
19/7/2006	67,76	2,24	
26/7/2006	56		9,5

N-Amoniacal			
Data	Afluentes	Efluente R.1	Efluente R.2
24/5/2006	39	0	0
31/5/2006	36,4	4,8	
7/6/2006	52,64	9,52	
14/6/2006	49,2	6,1	
21/6/2006	61,6	6,36	0
28/6/2006	46	0	1,12
5/7/2006	78,4	3,78	3,36
12/7/2006	52,64	0	0
19/7/2006	38,64	0	0
26/7/2006	35,8	0,28	3

Nitrato			
Data	Afluyente	Efluente R.1	Efluente R.2
24/5/2006	0,526	5,14	4,6
31/5/2006	0,33		5,35
7/6/2006		4,11	1,91
14/6/2006	0,41	7,98	8,7
21/6/2006	0,02	5,77	4,77
28/6/2006			
5/7/2006			
12/7/2006			
19/7/2006			
26/7/2006			

Fósforo Total			
Data	Afluyente	Efluente R.1	Efluente R.2
24/5/2006			
31/5/2006	9,96		4,78
7/6/2006	9,14		
14/6/2006	10,37	3,47	
21/6/2006	9,81		
28/6/2006	7,9	3,3	
5/7/2006	10,22	4,58	6,06
12/7/2006	8,28	0,95	1,33
19/7/2006	7,62	2,71	
26/7/2006	6,94		4,67

Fósforo Solúvel			
Data	Afluyente	Efluente R.1	Efluente R.2
24/5/2006			
31/5/2006	5,79		0,44
7/6/2006	6,79		
14/6/2006	6,47	2,72	
21/6/2006	6,78		
28/6/2006	5,12	1,46	3,4
5/7/2006	8,61	3,83	4,51
12/7/2006	6,16	0,65	1,41
19/7/2006	4,7	2,09	3,51
26/7/2006	3,09		

DBO			
Data	Afluente	Efluente R.1	Efluente R.2
2/8/2006			
9/8/2006	342		
30/8/2006			60
6/9/2006	261	73	
13/9/2006	331	66	42
20/9/2006	438	47	
4/10/2006	446	47	48
1/11/2006			
15/11/2006	168	20	38

DQO			
Data	Afluente	Efluente R.1	Efluente R.2
2/8/2006	571	80	60
9/8/2006	784		166
30/8/2006	580	149	149
6/9/2006	545	122	53
13/9/2006	740	70	44
20/9/2006			
4/10/2006	646	59	43
1/11/2006			
15/11/2006	488	52	66

OD		
Data	Lodo R.1	Lodo R.2
2/8/2006	3,15	
9/8/2006	6,82	
30/8/2006	3,8	3,6
6/9/2006	5,4	2,6
13/9/2006	0,6	0,6
20/9/2006		
4/10/2006		
1/11/2006		
15/11/2006		

Temperatura					
Data	Afluente	Lodo R.1	Lodo R.2	Efluente R.1	Efluente R.2
2/8/2006		17		17,5	18
9/8/2006					
30/8/2006	18	19	19	20	19
6/9/2006	16	18	18	18	18
13/9/2006	22	22	24	22	22
20/9/2006		22	22	23	22
4/10/2006		23	23		
1/11/2006					
15/11/2006	22		21	22	

pH					
Data	Afluente	Lodo R.1	Lodo R.2	Efluente R.1	Efluente R.2
2/8/2006	6,6		6,98	6,7	6,57
9/8/2006					
30/8/2006	7,3	6,9	6,62	6,89	6,4
6/9/2006	7,2	6,4	6,6	6,3	6,5
13/9/2006	7,22	6,8		6,8	6,8
20/9/2006	7,2	6,7	6,8	6,71	7
4/10/2006		6,53	6,63		6,7
1/11/2006					
15/11/2006	7,51		7,26	6,95	

Alcalinidad			
Data	Afluente	Efluente R.1	Efluente R.2
2/8/2006	175	53	40
9/8/2006			
30/8/2006	159	110	65
6/9/2006	170	66	56
13/9/2006	225	95	103
20/9/2006	171	5	9,2
4/10/2006	193	67	84
1/11/2006			
15/11/2006	225	187	114

SST					
Data	Afluente	Lodo R.1	Lodo R.2	Efluente R.1	Efluente R.2
2/8/2006	332	2260	3608	88	54
9/8/2006					
30/8/2006	212	2468	3024	132	140
6/9/2006	376	2840	3448	72	28
13/9/2006	276	2884	3220	40	10
20/9/2006	656	3056	3352	52	
4/10/2006	296	2948	3164	32	8
1/11/2006	300	4236	3804	80	160
15/11/2006	236	2136	3720	52	

SSV					
Data	Afluente	Lodo R.1	Lodo R.2	Efluente R.1	Efluente R.2
2/8/2006	232	1448	2424	56	36
9/8/2006					
30/8/2006	172	1812	2156	96	100
6/9/2006	208	1900	2208	60	24
13/9/2006	228	2020	2196	32	10
20/9/2006	428	2132	2224	52	
4/10/2006	264	2020	2184	32	8
1/11/2006	160	2724	2496	60	112
15/11/2006	120	1424	2452	36	

SSF					
Data	Afluente	Lodo R.1	Lodo R.2	Efluente R.1	Efluente R.2
2/8/2006	100	812	1184	32	18
9/8/2006					
30/8/2006	40	656	868	36	40
6/9/2006	168	940	1240	12	4
13/9/2006	48	864	1024	8	0
20/9/2006	228	924	1128	0	
4/10/2006	32	928	980	0	0
1/11/2006	140	1512	1308	20	48
15/11/2006	64	712	1268	16	

Nitrogênio Total			
Data	Afluente	Efluente R.1	Efluente R.2
2/8/2006	69,4	14	7,84
9/8/2006			
30/8/2006	67,2	33,6	20,16
6/9/2006	65,52	22,4	5,6
13/9/2006	71,12	16,24	15,68
20/9/2006	73,92	7,2	
4/10/2006	79,5	11,76	
1/11/2006			
15/11/2006	72,8	26,8	43,12

N-Amoniacal			
Data	Afluente	Efluente R.1	Efluente R.2
2/8/2006	45,9	3,9	0,4
9/8/2006			
30/8/2006	43	21,14	7,98
6/9/2006	43	10,64	0,28
13/9/2006	60,48	11,06	11,76
20/9/2006	37,52	0,42	9,8
4/10/2006	53,2	6,4	10,9
1/11/2006			
15/11/2006	47		

Fósforo Total			
Data	Afluente	Efluente R.1	Efluente R.2
2/8/2006	6,45	2,85	4,66
9/8/2006			
30/8/2006	6,15	2,72	2,84
6/9/2006	5,67		0,44
13/9/2006	8,68	1,32	0,59
20/9/2006	6,93	1,44	
4/10/2006	8,84	2,57	1,73
1/11/2006			
15/11/2006	7,26	1,8	2,09

Fósforo Solúvel			
Data	Afluente	Efluente R.1	Efluente R.2
2/8/2006	3,54	1,19	2,8
9/8/2006			
30/8/2006	3,86	0,09	0,16
6/9/2006	2,72		0,16
13/9/2006	5,89	0,4	0,12
20/9/2006	3,8	0,38	0,05
4/10/2006	5,79	1,14	0,5
1/11/2006			
15/11/2006	3,05	0,12	0