

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM ENGENHARIA DO MEIO
AMBIENTE - PPGEMA

MAURA FRANCISCA DA SILVA

**AVALIAÇÃO E PROPOSIÇÕES DE MELHORIAS
PARA A ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS
DE GOIÂNIA**

ENGENHARIA



MEIO AMBIENTE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO - UFG

Goiânia

2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

MAURA FRANCISCA DA SILVA

**AVALIAÇÃO E PROPOSIÇÕES DE MELHORIAS
PARA A ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS
DE GOIÂNIA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação
Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente da
Universidade Federal de Goiás, para obtenção do título de
Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Área de Concentração:

Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Eraldo Henriques de Carvalho

Goiânia

2007

À minha mãe Alexandra, pelo incentivo.

Aos meus irmãos e irmãs pelo apoio.

Ao meu marido Alberto pela paciência em todos os momentos.

As minhas filhas Alexandra e Ingrid pelo carinho, que me fortifica a cada momento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me concedido toda a energia necessária para realização desse sonho, que é a concretização deste mestrado.

Agradeço a Universidade Federal de Goiás – Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente, pela oportunidade de aprimorar meus conhecimentos.

A SANEAGO é a grande responsável por todos os meus passos nesta jornada profissional, e o Diretor de Produção Luiz Humberto, foi quem permitiu meu ingresso neste curso, a ele, meu muito obrigada.

Muito obrigada, Dr. Eraldo, por toda a orientação e amizade em todas as etapas para realização deste trabalho.

Agradeço a Eng^a Marisa, pela confiança em permitir a realização deste trabalho na ETE – Goiânia, e pelo seu exemplo de profissionalismo.

Agradeço também as minhas amigas Kellya, Shirley, Sandra e todos os empregados que trabalham na ETE – Goiânia, pois sem a ajuda de vocês não seria possível a realização deste trabalho.

A minha sobrinha Luana, agradeço pelas correções do texto, e pelo exemplo de coragem e amor. Através de você agradeço também a todos os meus sobrinhos, que eles sigam seu exemplo de dedicação e esforço.

Ao Professor Pedro, obrigada, pelos ensinamentos estatísticos e contribuições.

Agradeço ao Laboratório de esgoto da SANEAGO, pelas inúmeras análises realizadas, as quais foram fundamentais.

RESUMO

No presente trabalho foi avaliado os sistemas de gradeamento, desarenação e coagulação/floculação da Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio Seixo de Britto, ETE – Goiânia, visando avaliação e proposição de melhorias. O tratamento de esgoto da ETE – Goiânia é do tipo lodos ativados assistido quimicamente, com tratamento do lodo através de desagamento em centrífugas, com adição de óxido de cálcio para estabilização e higienização. Atualmente, está em operação apenas o tratamento primário quimicamente assistido. No início de operação, a estação estava com alguns problemas como presença de grande quantidade de detritos na espuma dos decantadores, entupimento em tubulações e desgastes em equipamentos utilizados no tratamento do lodo. Para avaliação do tratamento preliminar, foi verificado o funcionamento de unidades de outras ETEs, normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e literatura especializada. O desempenho do sistema de gradeamento e da caixa de areia foi avaliado por meio da verificação do funcionamento das unidades subseqüentes; do volume de material retido por 1.000 m³ de esgoto tratado; e de dados de outras ETEs. Foram realizados testes de peneiramento para a espuma dos decantadores primários, utilizando peneiras com malhas de 1; 3 e 6 mm, objetivando fornecer subsídios para a definição da malha da peneira necessária ao bom funcionamento da estação. Foi avaliado, também, o lodo primário quanto aos teores de sólidos totais fixos (STF) presentes. A proposição de melhoria da dosagem de sulfato férrico e polieletrólito aniônico foram feitas definindo inicialmente o melhor ponto de aplicação de produtos químicos; e a escolha do tempo de coagulação e gradiente de velocidade real da estação. O ensaio de *jar test* foi utilizado como ferramenta de bancada para simular a dosagem de produtos químicos na estação. De acordo com os resultados obtidos, concluiu-se que o gradeamento grosso atende às necessidades operacionais da ETE, em termos de remoção de sólidos grosseiros; porém, mostra-se deficiente quanto à realização da limpeza manual. O gradeamento fino não atende às necessidades operacionais da estação, ocasionando entupimentos em tubulações que provocam manutenções freqüentes. O sistema de desarenação não atinge a eficiência necessária para uma boa operação da estação. O excesso de areia presente no lodo primário provoca desgastes em bombas e centrífugas. O melhor ponto de aplicação de coagulante foi imediatamente a montante da calha *parshall*, e o polieletrólito a cinco metros a jusante da mesma. Este ponto proporcionou a mesma remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), porém favoreceu uma remoção 20% maior de sólidos suspensos totais (SST) em relação ao outro ponto de aplicação. A ferramenta *jar test*, para simulação das condições da estação, mostrou-se adequada. Os resultados obtidos em *jar test* foram em torno de 8% superiores aos obtidos em campo para DBO e 18% para SST. O esgoto bruto da ETE Goiânia foi dividido em duas classes, a dosagem ótima para a classe 1 foi de 25 mg/L de sulfato férrico e 0,6 mg/L de polieletrólito aniônico, enquanto para a classe 2, as dosagens ótimas foram de 37 e 0,8 mg/L, respectivamente.

Palavras-chaves: Tratamento de esgoto. Tratamento preliminar. Tratamento primário quimicamente assistido. Ensaio de *jar test* em esgoto. Coagulação e floculação de esgoto bruto.

ABSTRACT

In the present work the Dr. Hélio Seixo de Britto Sewage Treatment Plant, STP - Goiânia systems of screening, grit removal and coagulation/flocculation has been evaluated looking for improvements proposition. The treatment of sewage of the STP - Goiânia is chemically enhanced activated sludge type, with treatment of the sludge through centrifuge drainage, with calcium oxide addition for stabilization and hygienic cleaning. Currently, it is in operation only the chemical enhanced primary treatment. At the beginning of operation, the station faced some problems as presence of great amount of detritus in the scum of the settling tanks, clogging in tubing and consuming in equipment used in the treatment of the sludge. For evaluation of the preliminary treatment, was verified the operation of other units of STPs, norms of the Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) and specialized literature. The performance of the system of screening and grit chamber was evaluated through the verification of the functioning of the subsequent units to the preliminary treatment; of the volume of restrained material for 1.000 m³ of treated sewage; and by data of other STPs. Tests of sieving for the scum of the primary settling tanks had been carried through, using screens with meshes, of 1; 3 and 6 mm, aiming to provide subsidies for the definition of the mesh sieve necessary for the smooth operation of the station. It was evaluated, also, the primary sludge related to the total fixed solids (TFS). The proposition for improvement of the dosage of ferric sulfate and anionic polyelectrolyte were made defining initially the best point of application of chemicals; and choice of the time of coagulation and velocity gradient it best represented the plant. It was used the jar test as tool to simulate the dosage of chemicals in the station. In accordance with the gotten results, it was concluded that the coarse screening satisfies the operational necessities of the STP, in terms of coarse solid removal; however it reveals deficient in relation to the accomplishment of the manual cleanness. The fine screening does not satisfy the operational necessities of the plant, causing clogging in tubing that provoke frequent maintenances. The grit removal system does not reach the necessary efficiency for a good operation of the plant. The sand excess in the primary sludge provokes consuming in bombs and centrifugal machines. Optimum point of coagulant application was immediately upstream of the *parshall* flume and the polyelectrolyte one it was at five meters downstream of the same one. This point provided the same removal of biochemical oxygen demand (BOD), however favored a removal 20% greater of total suspended solids (TSS) in relation to the other point of application. The jar test tool, with simulation of the conditions of the plant, proved to be adequate. The results gotten in jar test had been around 8% superiors to the gotten ones in field for BOD and 18% for TSS. The raw sewage of the STP - Goiânia was divided in two classe, excellent dosage for classe 1 was of 25 mg/L of ferric sulfate and 0,6 mg/L of anionic polyelectrolyte, while for classe 2, the excellent dosages had been of 37 and 0,8 mg/L, respectively.

Word keys: Sewage treatment. Preliminary treatment. Chemical enhanced primary treatment. Jar test in sewage. Coagulation and flocculation of raw sewage.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 1 | Grade com acionamento e arraste do rastelo por cremalheira, ETE – Goiânia. | 24 |
| Figura 2 | Grade de retenção de detritos tipo curva, com um braço para realização da limpeza. | 25 |
| Figura 3 | Grade com parafuso transportador, ETE Búzios, RJ. | 25 |
| Figura 4 | Desarenador retangular com limpeza mecanizada | 29 |
| Figura 5 | Caixa de areia quadrada por gravidade da ETE Alegria, Rio de Janeiro, RJ. | 31 |
| Figura 6 | Caixa de areia aerada – ETE – Goiânia: a) vista do prédio ; b) vista de uma unidade; c) detalhe das bombas de sucção de areia; d) vista do classificador de areia. | 32 |
| Figura 7 | Decantador primário tipo circular da ETE – Goiânia. | 35 |
| Figura 8 | Trajectoria das partículas individuais no tanque ideal circular. | 36 |
| Figura 9 | Sistema de tratamento de esgotos tipo lodos ativados. | 45 |
| Figura 10 | Diagrama de processo de tratamento proposto para a ETE – Goiânia. | 53 |
| Figura 11 | Opções 1 e 2 de aplicação de produtos químicos na ETE – Goiânia. | 67 |
| Figura 12 | Corte da estrutura de chegada de esgoto bruto na ETE – Goiânia. | 73 |
| Figura 13 | Variação mensal da remoção de detritos no sistema de gradeamento da ETE – Goiânia, obtidos para os anos de 2005 e 2006. | 77 |
| Figura 14 | Comparativo da remoção de detritos gerados na ETE – Goiânia com outras ETEs regionais em 2005. | 77 |
| Figura 15 | Variação mensal média da remoção de areia na ETE – Goiânia nos anos de 2005 e 2006. | 81 |
| Figura 16 | Volumes de areia gerados em diferentes ETEs no ano de 2005. | 81 |
| Figura 17 | Variação dos STF do lodo primário na EELP da ETE –Goiânia no ano de 2006. | 82 |
| Figura 18 | Variação mensal dos teores de STF e STV da areia retida na ETE – Goiânia no ano 2005. | 83 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 19 | Variação mensal dos teores de STF e STV da areia retida na ETE – Goiânia em 2006. | 83 |
| Figura 20 | Variação horária de DBO do esgoto bruto da ETE – Goiânia. | 84 |
| Figura 21 | Variação horária de SST do esgoto bruto da ETE – Goiânia. | 85 |
| Figura 22 | Médias horárias de DBO e SST do esgoto bruto da ETE – Goiânia. | 85 |
| Figura 23 | Variação da média mensal dos resultados de Turbidez, DBO, SST e DQO da ETE – Goiânia do ano de 2006. | 87 |
| Figura 24 | Variação de turbidez remanescente ao longo do tempo de decantação para esgoto coagulado e em <i>jar test</i> , com gradiente de velocidade de 125 s^{-1} e turbidez do esgoto bruto de 246 uT . | 89 |
| Figura 25 | Variação de turbidez remanescente ao longo do tempo de decantação para esgoto coagulado na estação e em <i>jar test</i> , com gradiente de velocidade de 300 s^{-1} e turbidez do esgoto bruto de 246 uT . | 89 |
| Figura 26 | Variação de turbidez remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em <i>jar test</i> , com gradiente de velocidade de 125 s^{-1} e turbidez do esgoto bruto de 295 uT . | 90 |
| Figura 27 | Variação de DBO remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em <i>jar test</i> , com gradiente de velocidade de 125 s^{-1} e DBO do esgoto bruto de 375 mg/L . | 90 |
| Figura 28 | Variação de DQO remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em <i>jar test</i> , com gradiente de velocidade de 125 s^{-1} e DQO do esgoto bruto de 704 mg/L . | 91 |
| Figura 29 | Variação de SST remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em <i>jar test</i> , com gradiente de velocidade de 125 s^{-1} e SST do esgoto bruto de 284 mg/L . | 91 |
| Figura 30 | Variação de turbidez remanescente ao longo do tempo de decantação para esgoto coagulado na estação e em <i>jar test</i> , com gradiente de velocidade de 1.200 s^{-1} e turbidez do esgoto bruto de 265 mg/L . | 93 |
| Figura 31 | Variação de turbidez remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em <i>jar test</i> , com gradiente de velocidade de 1.000 s^{-1} e turbidez do esgoto bruto de 265 mg/L . | 93 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| Figura 32 | Varição de turbidez remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em <i>jar test</i> , com gradiente de velocidade de 800 s^{-1} e turbidez do esgoto bruto de 236 mg/L . | 94 |
| Figura 33 | Varição de turbidez remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em <i>jar test</i> , com gradiente de velocidade de 600 s^{-1} e turbidez do esgoto bruto de 236 mg/L . | 95 |
| Figura 34 | Varição de turbidez remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em <i>jar test</i> , com gradiente de velocidade de 600 s^{-1} e turbidez do esgoto bruto de 236 mg/L . | 96 |
| Figura 35 | Varição de DBO remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em <i>jar test</i> , com gradiente de velocidade de 600 s^{-1} e DBO do esgoto bruto de 360 mg/L . | 96 |
| Figura 36 | Varição de DQO remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em <i>jar test</i> , com gradiente de velocidade de 600 s^{-1} e DQO do esgoto bruto de 455 mg/L . | 97 |
| Figura 37 | Varição de SST remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em <i>jar test</i> , com gradiente de velocidade de 600 s^{-1} e SST do esgoto bruto de 452 mg/L . | 97 |
| Figura 38 | Turbidez remanescente para diferentes dosagens de sulfato férrico para os tempos de decantação de quatro e 30 minutos. | 99 |
| Figura 39 | Turbidez remanescente para diferentes dosagens de sulfato férrico e polieletrólito aniônico para tempo de decantação de quatro e 30 minutos. | 100 |
| Figura 40 | DBO remanescente para diferentes dosagens de sulfato férrico e polieletrólito aniônico para tempo de decantação de quatro e 30 minutos. | 100 |
| Figura 41 | DQO remanescente para diferentes dosagens de sulfato férrico e polieletrólito aniônico para tempo de decantação de quatro e 30 minutos. | 101 |
| Figura 42 | SST remanescente para diferentes dosagens de sulfato férrico e polieletrólito aniônico para tempo de decantação de quatro e 30 minutos. | 101 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| Figura 43 | Turbidez remanescente para diferentes dosagens de sulfato férrico e polieletrólito aniônico para tempo de decantação de 4 e 30 minutos. | 102 |
| Figura 44 | Turbidez remanescente para diferentes dosagens de sulfato férrico e polieletrólito aniônico para os tempos de decantação de quatro e 30 minutos. | 103 |
| Figura 45 | DBO remanescente para diferentes dosagens de sulfato férrico e polieletrólito aniônico para tempo de decantação de quatro e 30 minutos. | 104 |
| Figura 46 | DQO remanescente para diferentes dosagens de sulfato férrico e polieletrólito aniônico para tempo de decantação de quatro e 30 minutos. | 104 |
| Figura 47 | SST remanescente para diferentes dosagens de sulfato férrico e polieletrólito aniônico para tempo de decantação de quatro e 30 minutos. | 105 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabela 1 | Classificação das grades utilizadas no tratamento preliminar quanto ao espaçamento entre as barras. | 23 |
| Tabela 2 | Quantidade de sólidos grosseiros removidos nas grades em função do espaçamento entre barras. | 26 |
| Tabela 3 | Remoção de areia segundo diferentes autores e origens. | 29 |
| Tabela 4 | Pontos de aplicação e dosagens de produtos químicos e eficiências de remoção de DBO e SST de ETEs do estado da Califórnia (USA). | 38 |
| Tabela 5 | Gradiente de velocidade típico e tempo de detenção do processo de tratamento de esgoto. | 40 |
| Tabela 6 | Tempo máximo de sobrevivência de agentes patogênicos do lodo no solo. | 46 |
| Tabela 7 | Limites de metais em lodo de sistema de tratamento de esgoto. | 46 |
| Tabela 8 | Composição típica do lodo bruto e digerido segundo. | 47 |
| Tabela 9 | Produção relativa de lodo no tratamento primário convencional e no assistido quimicamente. | 49 |
| Tabela 10 | Etapas e atendimento da estação de tratamento de esgoto de Goiânia. | 52 |
| Tabela 11 | Alíquotas do afluente da ETE – Goiânia, proporcionais à vazão média dos horários de coleta. | 66 |
| Tabela 12 | Tempos reais de processo da ETE – Goiânia para a opção 1 de aplicação de produtos químicos. | 69 |
| Tabela 13 | Tempos reais de processo da ETE – Goiânia para a opção 2 de aplicação de produtos químicos. | 70 |
| Tabela 14 | Dosagens de sulfato férrico aplicadas em <i>jar test</i> no esgoto da ETE – Goiânia para classe 1, segundo <i>Cluster</i> . | 72 |
| Tabela 15 | Dosagens de sulfato férrico aplicadas em <i>jar test</i> no esgoto da ETE – Goiânia para classe 2, segundo <i>Cluster</i> . | 72 |
| Tabela 16 | Volumes de detritos gerados no sistema de gradeamento da ETE – Goiânia nos anos de 2005 e 2006. | 76 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| Tabela 17 | Estatísticas básicas referentes às variações das concentrações de SST e DBO durante 24 horas. | 86 |
| Tabela 18 | Valores preditórios para os parâmetros Turbidez, DBO, SST e DQO do esgoto bruto do ano de 2006. | 87 |
| Tabela 19 | Diferença em porcentagem de turbidez entre o esgoto coagulado no <i>jar test</i> em relação ao coagulado na ETE em diferentes tempos de decantação para o gradiente de 125 s^{-1} . | 88 |
| Tabela 20 | Diferença em porcentagem de turbidez entre o esgoto coagulado no <i>jar test</i> em relação ao coagulado na ETE em diferentes tempos de decantação para o gradiente de 300 s^{-1} . | 88 |
| Tabela 21 | Tempos reais da ETE – Goiânia, e tempos representativos, com os respectivos gradientes de velocidade, encontrado em <i>jar test</i> para a opção 1 de aplicação de produtos químicos. | 92 |
| Tabela 22 | Diferença em porcentagem de turbidez entre o esgoto coagulado no <i>jar test</i> em relação ao coagulado na ETE em diferentes tempos de decantação para o gradiente de 800 s^{-1} . | 95 |
| Tabela 23 | Diferença em porcentagem de turbidez entre o esgoto coagulado no <i>jar test</i> em relação ao coagulado na ETE em diferentes tempos de decantação para o gradiente de 600 s^{-1} . | 95 |
| Tabela 24 | Tempos reais da ETE – Goiânia, e tempos representativos, com os respectivos gradientes de velocidade, encontrado em <i>jar test</i> para a opção 2 de aplicação de produtos químicos. | 98 |
| Tabela 25 | Eficiências de remoções dos parâmetros turbidez, DBO, DQO e SST, encontradas me <i>jar test</i> para as opções 1 e 2 de aplicação de produtos químicos. | 98 |
| Tabela 26 | Eficiências de remoções de turbidez, DBO, DQO e SST para dosagens de 25 e 28 mg/L de sulfato férrico, e dosagens de 0,4; 0,6 e 0,8 mg/L de polieletrólito aniônico, aplicadas no esgoto bruto classe 1 da ETE – Goiânia. | 102 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| Tabela 27 | Eficiências de remoções de turbidez, DBO, DQO e SST para dosagens de 34 e 37 mg/L de sulfato férrico, e dosagens de 0,6; 0,8 e 1,0 mg/L de polieletrólito aniônico, aplicadas no esgoto bruto classe 2 da ETE – Goiânia. | 105 |
| Tabela 28 | Custos da aplicação de produtos químicos no esgoto bruto, atualmente, praticados na estação. | 106 |
| Tabela 29 | Simulação de custos da aplicação de produtos químicos no esgoto bruto, com variação de dosagens de acordo com a classe 1 e 2 de <i>cluster</i> . | 106 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| APHA | American Public Health Association |
| AWWA | American Water Works Association |
| CAESB | Companhia de Saneamento de Distrito Federal |
| CEPT | <i>Chemical Enhanced Primary Treatment</i> |
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxigênio |
| DQO | Demanda Química de Oxigênio |
| EELP | Estação Elevatória de Lodo Primário |
| ETE | Estação de Tratamento de Esgoto |
| ETEs | Estações de Tratamento de Esgotos |
| hab | habitantes |
| NBR | Norma Brasileira |
| SANEAGO | Saneamento de Goiás S/A |
| SNIS | Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento |
| SST | Sólidos Suspensos Totais |
| ST | Sólidos Totais |
| STF | Sólidos Totais Fixos |
| STV | Sólidos Totais Voláteis |
| TAS | Taxa de Aplicação Superficial |
| TDH | Tempo de Detenção Hidráulica |
| TPA | Tratamento Primário Avançado |
| TPQA | Tratamento Primário Quimicamente Assitado |
| USEPA | United States Environmental Protection Agency |
| WEF | Water Environment Federation |
| WPCF | Water Pollution Control Facility |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|------------------------------|--|
| ΔS | deslocamento no espaço |
| Δt | deslocamento no tempo |
| A | área |
| Al(OH)_3 | hidróxido de alumínio |
| CaCO_3 | carbonato de cálcio |
| CaO | óxido de cálcio |
| CO_2 | gás carbônico |
| Fe(OH)_3 | hidróxido de ferro (III) |
| HAc | ácido acético |
| K_2O | óxido de potássio |
| N | nitrogênio |
| P_2O_5 | pentóxido de difósforo ou anidrido fosfórico |
| Q | vazão |
| SiO_2 | dióxido de silício |
| v | velocidade |
| $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ | sulfato férrico |

SUMÁRIO

| | | |
|----------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 18 |
| 1.1 | JUSTIFICATIVA..... | 19 |
| 1.2 | OBJETIVO GERAL | 19 |
| 1.3 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 20 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 21 |
| 2.1 | TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO..... | 21 |
| <i>2.1.1</i> | <i>TRATAMENTO PRELIMINAR</i> | <i>22</i> |
| 2.1.1.1 | Gradeamento de sólidos grosseiros..... | 22 |
| 2.1.1.2 | Remoção de areia | 27 |
| <i>2.1.2</i> | <i>TRATAMENTO PRIMÁRIO.....</i> | <i>33</i> |
| 2.1.2.1 | Sedimentação e decantação | 33 |
| 2.1.2.2 | Tratamento primário quimicamente assistido..... | 36 |
| 2.1.2.3 | Processo da coagulação química | 39 |
| <i>2.1.3</i> | <i>TRATAMENTO SECUNDÁRIO.....</i> | <i>42</i> |
| 2.1.3.1 | Sistemas de lodos ativados | 43 |
| <i>2.1.4</i> | <i>GERAÇÃO DE LODO NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS.....</i> | <i>44</i> |
| 2.1.4.1 | Aspectos qualitativos..... | 45 |
| 2.1.4.2 | Aspectos quantitativos | 48 |
| 2.1.4.3 | Principais processos de tratamento | 49 |
| 2.2 | ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS..... | 50 |
| 3 | METODOLOGIA | 52 |
| 3.1 | INFORMAÇÕES SOBRE O SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE GOIÂNIA..... | 52 |
| <i>3.1.1</i> | <i>PROCESSO DE TRATAMENTO DA ETE - GOIÂNIA</i> | <i>53</i> |
| <i>3.1.2</i> | <i>CARACTERÍSTICAS E OPERAÇÃO DO TRATAMENTO PRELIMINAR DA ETE - GOIÂNIA ...</i> | <i>55</i> |
| 3.1.2.1 | Sistema de gradeamento grosso e fino..... | 55 |
| 3.1.2.2 | Sistema de desarenação | 58 |
| <i>3.1.3</i> | <i>PROCESSO DE TRATAMENTO DA FASE SÓLIDA.....</i> | <i>61</i> |
| 3.2 | AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO PRELIMINAR DA ETE - GOIÂNIA..... | 61 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 3.2.1 | <i>CONCEPÇÃO ADOTADA NO PROJETO EXECUTIVO.....</i> | 61 |
| 3.2.2 | <i>DIMENSIONAMENTO APRESENTADO NO PROJETO EXECUTIVO.....</i> | 61 |
| 3.2.3 | <i>ASPECTOS CONSTRUTIVOS.....</i> | 62 |
| 3.2.4 | <i>MANUAL DE OPERAÇÃO PERTENCENTE AO PROJETO EXECUTIVO</i> | 62 |
| 3.2.5 | <i>DESEMPENHO DO TRATAMENTO PRELIMINAR.....</i> | 62 |
| 3.2.5.1 | Desempenho do sistema de gradeamento..... | 62 |
| 3.2.5.1.1 | Ensaio de peneiramento da espuma formada nos decantadores primários | 63 |
| 3.2.5.2 | Avaliação do desempenho do sistema de desarenação..... | 64 |
| 3.3 | PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS PARA O PROCESSO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO DA ETE - GOIÂNIA..... | 64 |
| 3.3.1 | <i>CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO BRUTO DA ETE - GOIÂNIA</i> | 65 |
| 3.3.1.1 | Determinação da variação horária da concentração de DBO e SST do esgoto bruto... | 65 |
| 3.3.1.2 | Avaliação mensal dos resultados de DBO, SST, DQO e turbidez do esgoto bruto | 65 |
| 3.3.2 | <i>DEFINIÇÃO DOS PONTOS ÓTIMOS DE APLICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS NO ESGOTO BRUTO.....</i> | 66 |
| 3.3.3 | <i>DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICA E GRADIENTE DE VELOCIDADE DAS UNIDADES DA ETE - GOIÂNIA RELACIONADAS COM O PROCESSO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO.....</i> | 67 |
| 3.3.4 | <i>ESTIMATIVA EM JAR TEST DO TEMPO DE COAGULAÇÃO E GRADIENTES DE VELOCIDADE DA ETE - GOIÂNIA.....</i> | 68 |
| 3.3.4.1 | Aplicação de coagulante no início da caixa de areia e polieletrólito a 5,9 m, a montante da calha parshall (opção 1) | 68 |
| 3.3.4.2 | Aplicação de coagulante a montante do ressalto hidráulico da calha <i>parshall</i> e polieletrólito a 5 m a jusante da calha <i>parshall</i> (opção 2) | 70 |
| 3.3.5 | <i>AVALIAÇÃO DAS MELHORES DOSAGENS DE COAGULANTE E AUXILIAR DE COAGULAÇÃO PARA O ESGOTO BRUTO DA ETE - GOIÂNIA</i> | 71 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 73 |
| 4.1 | AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO PRELIMINAR DA ETE – GOIÂNIA | 73 |
| 4.1.1 | <i>SISTEMA DE GRADEAMENTO DA ETE – GOIÂNIA</i> | 73 |
| 4.1.1.1 | Concepção do gradeamento grosso adotada no projeto executivo | 73 |
| 4.1.1.2 | Concepção do gradeamento fino adotada no projeto executivo..... | 74 |
| 4.1.1.3 | Dimensionamento dos gradeamentos grosso e fino apresentado no projeto executivo | 74 |
| 4.1.1.4 | Aspectos construtivos do projeto executivo | 75 |
| 4.1.1.5 | Operação preconizada no manual de operação pertencente ao projeto executivo..... | 75 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 4.1.1.6 | Desempenho do gradeamento grosso e fino | 75 |
| 4.1.1.7 | Ensaio de peneiramento da espuma dos decantadores..... | 78 |
| 4.1.2 | <i>CAIXAS DE AREIA DA ETE – GOIÂNIA</i> | 79 |
| 4.1.2.1 | Concepção adotada no projeto executivo..... | 79 |
| 4.1.2.2 | Dimensionamento das caixas de areia apresentado no projeto executivo..... | 79 |
| 4.1.2.3 | Aspectos construtivos..... | 79 |
| 4.1.2.4 | Manual de operação apresentado no projeto executivo..... | 79 |
| 4.1.2.5 | Desempenho das caixas de areia | 80 |
| 4.2 | PROPOSIÇÕES DE MELHORIAS PARA O PROCESSO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO DA ETE – GOIÂNIA | 84 |
| 4.2.1 | <i>CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO BRUTO DA ETE – GOIÂNIA</i> | 84 |
| 4.2.1.1 | Variação horária da concentração de DBO e SST do esgoto bruto..... | 84 |
| 4.2.1.2 | Variação mensal de DBO, SST, DQO e turbidez do esgoto bruto..... | 86 |
| 4.2.2 | <i>DETERMINAÇÃO EM JAR TEST DO TEMPO DA MISTURA RÁPIDA E O GRADIENTE DE VELOCIDADE DA ETE – GOIÂNIA</i> | 88 |
| 4.2.2.1 | Aplicação de coagulante no início da caixa de areia e polieletrólito a 5,9 metros, a montante da calha <i>parshall</i> (opção 1) | 88 |
| 4.2.2.2 | Aplicação de coagulante imediatamente a montante do ressalto hidráulico da calha <i>parshall</i> e polieletrólito a 5 metros a jusante da calha <i>parshall</i> (opção 2)..... | 92 |
| 4.2.3 | <i>DEFINIÇÃO DOS PONTOS ÓTIMOS DE APLICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS NO ESGOTO BRUTO DA ETE – GOIÂNIA</i> | 98 |
| 4.2.4 | <i>AVALIAÇÃO DAS MELHORES DOSAGENS DE COAGULANTE E AUXILIAR DE COAGULAÇÃO PARA O ESGOTO DA ETE – GOIÂNIA</i> | 99 |
| 4.2.4.1 | Resultados da avaliação da melhor dosagem de produtos químicos para o esgoto classe 1 de <i>Cluster</i> | 99 |
| 4.2.4.2 | Resultados da avaliação da melhor dosagem de produtos químicos para esgoto classe 2 de <i>cluster</i> | 102 |
| 4.2.5 | <i>LEVANTAMENTO DE CUSTOS DAS DOSAGENS DE PRODUTOS QUÍMICOS NA ETE - GOIÂNIA</i> | 105 |
| 5 | CONCLUSÕES | 107 |

1 INTRODUÇÃO

A implantação de sistemas de tratamento de esgoto doméstico vem crescendo no Brasil, apesar dos índices de atendimento ainda serem baixos, 47,9 % de coleta de esgoto e 31,7 % de coleta e tratamento (SNIS, 2006). O tratamento de esgoto é fundamental para preservação do meio ambiente, promovendo saúde para a população, através da prevenção de várias doenças de veiculação hídrica.

O estado de Goiás possui 33% da população atendida por coleta e tratamento de esgoto; 76% da população de Goiânia possuem coleta de esgoto e 50% possuem coleta e tratamento. O aumento do índice de tratamento de esgoto da cidade de Goiânia ocorreu com o início de operação da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Dr. Hélio Seixo de Britto, usualmente chamada ETE – Goiânia, em agosto de 2004. A estação possui atualmente uma vazão média afluyente de 1.200 L/s e o processo de tratamento da fase líquida é do tipo primário quimicamente assistido e o da fase sólida é do tipo desaguamento em centrífugas e higienização com óxido de cálcio.

Algumas dificuldades operacionais foram encontradas na ETE – Goiânia, como grande quantidade de detritos flotando nos decantadores, excesso de areia no lodo primário, ocasionando manutenções freqüentes nas centrífugas, e necessidade de adequar os processos de coagulação e floculação do esgoto bruto.

A avaliação e busca por melhoria em unidades operacionais de uma ETE devem ser uma constante por parte dos operadores, principalmente em uma estação com apenas três anos de operação.

E necessário que as unidades operacionais e processos de uma ETE passem por avaliações, levantamento das dificuldades e dos problemas existentes para que se possam alcançar melhorias operacionais. Na operação de uma estação, cada unidade precisa funcionar com eficiência apropriada, para que não interfira no desempenho ou cause problemas em outras unidades subseqüentes.

Outro aspecto importante na operação de uma estação é a redução dos custos operacionais. O tratamento de esgoto gera muitos custos, como: energia elétrica, produtos químicos, mão-de-obra especializada e manutenção de equipamentos.

Uma melhoria importante que se pode alcançar em uma estação é a estabilidade operacional. Unidades bem operadas conseguem bons resultados, independente das variações de vazões e características do esgoto.

Portanto, pretende-se com este trabalho, avaliar e sugerir melhorias operacionais para as unidades de gradeamento, desarenação e processos de coagulação e floculação, etapas fundamentais para o bom desempenho operacional da ETE – Goiânia.

1.1 JUSTIFICATIVA

Como a ETE – Goiânia possui um tipo de tratamento pouco utilizado no Brasil para esgotos domésticos, é importante avaliar o desempenho de suas unidades operacionais objetivando conhecer essa tecnologia de tratamento. Como é uma estação de grande porte e que está em operação há apenas três anos, tornando-se importante estudar sua operação na busca de melhorias de suas unidades operacionais e processos.

As escumas que flutam nos decantadores da ETE – Goiânia é encaminhada para o tratamento de lodo, no qual a fase de desaguamento ocorre em centrífugas. Esses equipamentos mostram-se eficientes, mas requerem lodo sem quantidade significativa de detritos, fiapos e areia. Com o início da operação da estação, algumas dificuldades foram identificadas, como flotação de detritos no decantador e excesso de areia e fiapos no lodo, ocasionando freqüentes manutenções nas centrífugas.

A adição de produtos químicos no esgoto bruto objetivando remoção de matéria orgânica apresenta-se eficiente, sendo muito utilizado nos Estados Unidos e na Europa, e em algumas ETEs no Brasil, porém gera custo mensal e requer todo um acompanhamento de dosagens e avaliação dos melhores pontos de aplicação dos produtos para se obter bons resultados.

1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar e propor melhorias para as unidades operacionais de gradeamento e desarenação e para o processo de coagulação e floculação da ETE Dr. Hélio Seixo de Britto, ETE – Goiânia.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ♣ Avaliar e propor melhorias nas unidades operacionais de gradeamento grosso e fino;
- ♣ Avaliar e propor melhorias nas unidades operacionais de desarenação;
- ♣ Definir os pontos ideais para aplicação de sulfato férrico e polieletrólito aniônico;
- ♣ Definir as dosagens ótimas de produtos químicos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, discorrerão assuntos referentes ao tratamento de esgoto, principalmente, às unidades de gradeamento grosso e fino, desarenação e o processo de coagulação e floculação.

2.1 TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO

O esgoto sanitário é constituído essencialmente de despejos domésticos, uma parcela de águas pluviais, água de infiltração e, eventualmente, uma parcela não significativa de despejos industriais, com características bem definidas. O esgoto possui apenas 0,1 % de matéria sólida e os 99,9 % restantes de água (AZEVEDO NETTO et al., 1997).

Os métodos de tratamento de esgoto podem ser classificados em físicos, químicos e biológicos. Nas operações físicas, predominam os fenômenos físicos na remoção de substâncias em suspensão no esgoto, incluindo remoção dos sólidos grosseiros, sedimentáveis e sólidos flutuantes (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Nos processos químicos são utilizados produtos químicos para correção de pH, remoção de matéria orgânica ou outras substâncias presentes no esgoto. Normalmente, são adotados os seguintes processos químicos: coagulação; precipitação; oxidação; cloração e neutralização ou correção do pH (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Os processos biológicos dependem da ação de microrganismos presentes nos esgotos, os quais, através da alimentação, transformam compostos complexos em componentes simples, como sais minerais, gás carbônico e outros. Esses processos procuram reproduzir os fenômenos da natureza em unidades racionalmente projetadas, com tempos economicamente viáveis (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

A oxidação da matéria orgânica pode ser através do oxigênio livre ou combinado. Alguns microrganismos possuem os dois mecanismos, e são denominados facultativos. O processo aeróbio é preferencial, só utilizando a via aneróbia quando na ausência de oxigênio livre, segundo Britto (1994). Segundo Sperling (1996), as unidades de tratamento de esgoto podem ser classificadas, quanto à eficiência, em preliminar, primário, secundário e terciário.

2.1.1 Tratamento preliminar

O tratamento preliminar destina-se a remover, por ação física, o material grosseiro e uma parcela das partículas em suspensão no esgoto. O material grosseiro, semelhante ao lixo, é removido através de grades, enquanto a remoção das partículas suspensas ocorre por meio da caixa de areia, também chamada de desarenador, e da caixa de gordura. Na caixa de areia são removidos sólidos suspensos pesados, como areia e materiais com peso específico semelhante, utilizando o processo de sedimentação, enquanto na caixa de gordura são removidos sólidos suspensos com densidade menor que a água, como óleos e graxas, utilizando o processo de flotação natural (DACACH, 1991).

2.1.1.1 Gradeamento de sólidos grosseiros

O gradeamento é uma operação física que objetiva a remoção dos sólidos grosseiros, presentes no esgoto sanitário, que podem ser de fácil retenção, podendo ser utilizado também o peneiramento. Esses materiais são procedentes de usos inadequados das instalações prediais, coletores públicos, e demais componentes dos esgotos sanitários (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

De acordo com Jordão e Pessôa (2005), a remoção dos sólidos grosseiros presentes nos esgotos tem as seguintes finalidades: proteção dos dispositivos de transporte dos esgotos nas fases líquidas e sólidas, como equipamentos e tubulações; proteção dos equipamentos e materiais utilizados no tratamento dos esgotos; proteção dos corpos d'água e remoção de parte da carga poluidora, contribuindo para melhorar o desempenho das unidades subsequentes de tratamento.

a) Características das grades de barras

São utilizadas barras de ferro ou aço, as quais são dispostas paralelamente, verticais ou inclinadas, permitindo o fluxo contínuo do esgoto entre as barras bem como a retenção do material desejado, com baixa perda de carga. Os espaçamentos entre as barras variam de acordo com as dimensões dos sólidos que se pretende remover. Conforme os

espaçamentos entre as barras, essas podem ser classificadas em grossas, médias, finas e ultrafinas, como pode ser observado na Tabela 1 (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Tabela 1 - Classificação das grades utilizadas no tratamento preliminar quanto ao espaçamento entre as barras.

| Tipo de Grade | Espaçamento | |
|-------------------|--------------|------------|
| | Polegadas | Milímetros |
| Grades Grosseiras | Acima de 1 ½ | 40 a 100 |
| Grades Médias | ¾ a 1 ½ | 20 a 40 |
| Grades Finas | 3/8 a ¾ | 10 a 20 |
| Grades Ultrafinas | ¼ a ¾ | 3 a 10 |

Fonte: Jordão; Pessôa (2005).

As barras deverão ser suficientemente robustas para suportar impactos e esforços devido aos procedimentos operacionais e possíveis acúmulos de materiais retidos, os quais poderão ser agravados com grandes variações de desníveis do líquido a montante e a jusante da grade. Normalmente, o material utilizado é aço carbono ou outro material com rigidez estrutural adequada (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

As grades podem ser instaladas verticalmente ou inclinadas, sendo que as com limpeza manual geralmente são inclinadas para facilitar a limpeza, enquanto as mecanizadas podem ser verticais ou inclinadas. A inclinação em relação à horizontal, segundo ABNT (1992a), é de 45° a 60°, para limpeza manual, e 60° a 90°, para limpeza mecanizada.

A remoção do material retido nas grades deve ocorrer o mais rapidamente possível, evitando perdas de cargas excessivas que podem ocasionar transbordamento, bem como aumento da velocidade entre as barras, provocando arraste de detritos. Os dispositivos de remoção do material gradeado podem ser realizados através de acionamento mecanizado ou manual. A remoção mecanizada pode ser controlada através do temporizador ou de sensores de nível instalados a montante e a jusante do gradeamento (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

b) Tipos de grades de barras

As grades de barras podem ser classificadas, quanto ao movimento do rastelo na operação de limpeza, em frontais ou posteriores; quanto ao mecanismo de acionamento e

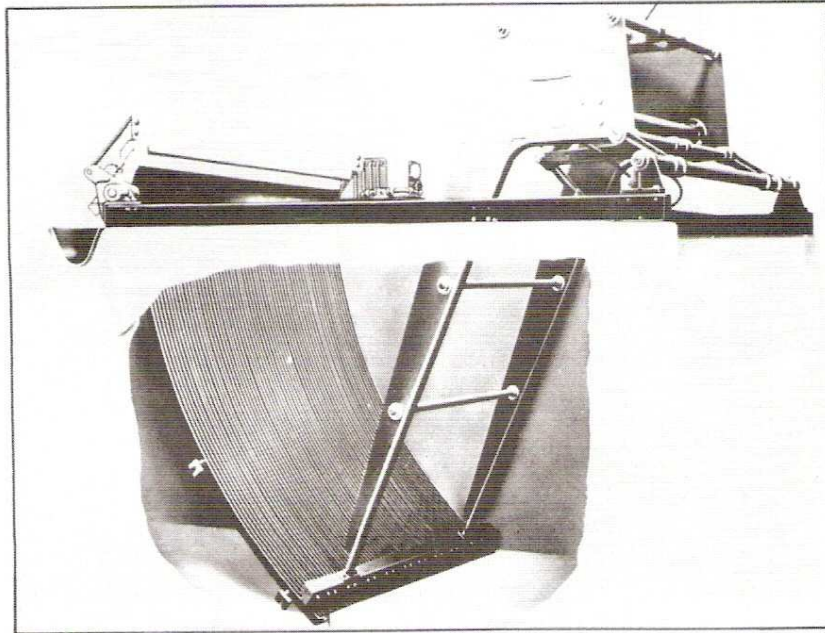
arraste dos rastelos, podendo ser guiadas por correntes, cabos, cremalheira, catenária ou do tipo rolante; e quanto à forma das barras, em retas ou curvas (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Quanto ao mecanismo de acionamento do rastelo, os tipos de grades mais comuns são por cabos, correntes e cremalheira, podendo ser rolantes ou escalares. As grades por cabos são desfavoráveis por apresentarem alongamento diferenciado nos cabos de sustentação do rastelo. As grades acionadas por correntes possuem o inconveniente de manter peças móveis no meio do líquido, dificultando a manutenção. Em grades de aço carbono pode ocorrer quebra de elos da corrente, porém, atualmente, existem correntes de material plástico resistente. Já as grades tipo cremalheira, possuem seus mecanismos de limpeza totalmente fora do meio líquido, facilitando a manutenção e evitando desgastes. Na figura 1, pode ser vista uma grade tipo cremalheira (JORDÃO; PESSÔA, 2005).



Figura 1 – Grade com acionamento e arraste do rastelo por cremalheira, ETE - Goiânia.

Consoante à forma, as barras podem ser retas, inclinadas ou posicionadas na vertical, ou curvas, que são sempre mecanizadas. Quanto à limpeza, estas podem ser de um braço com um único rastelo, e de dois braços com um rastelo em cada extremidade. Na Figura 2, apresenta-se uma grade curva de um braço. Esta grade apresenta as vantagens de possuir manutenção simples e de baixo custo, possibilidade de limpeza manual em caso de paralisação, dispositivos mecânicos e elétricos livres do contato com o esgoto e baixo consumo de energia (JORDÃO; PESSÔA, 2005).



Fonte: Jordão; Pessoa (2005).

Figura 2 – Grade de retenção de detritos tipo curva, com um braço para realização da limpeza.

Um tipo de grade mais recente é do tipo parafuso transportador (Figura 3) cuja extremidade mais baixa, junto do canal afluente de esgoto, é circundada por um sistema de barras e respectivo mecanismo de limpeza. O material retido é imediatamente removido do canal pelo parafuso transportador (JORDÃO; PESSÔA, 2005).



Fonte: Jordão; Pessoa (2005).

Figura 3 – Grade com parafuso transportador, ETE Búzios, RJ.

c) Características do material removido nas grades

As características dos materiais removidos no gradeamento dependem de hábitos e cultura da população. Muitos materiais são lançados indevidamente nos esgotos, causando grandes transtornos para as estações de tratamento. Outros aspectos são as contribuições de águas de chuvas, que conduzem para o esgoto grande quantidade de detritos, além de aumento da vazão afluyente à estação (DACACH, 1991).

Jordão e Pessoa (2005) citam que, para grades de espaçamento fino e médio, adota-se o valor de até 40 ou 50 litros de materiais retidos em 1.000 m³ de esgoto. Na Tabela 2, encontra-se apresentada a quantidade de material retido na grade em função do espaçamento entre as barras.

Tabela 2 – Quantidade de sólidos grosseiros removidos nas grades em função do espaçamento entre barras.

| Espaçamento (mm) | Quantidade Típica de Sólidos Grosseiros Retidos (L/1.000m ³) |
|---------------------|---|
| 12,5 | 50 |
| 20 | 38 |
| 25 | 23 |
| 35 | 12 |
| 40 | 9 |
| 50 | 6 |

Fonte: Jordão; Pessoa (2005).

d) Funcionamento hidráulico das grades

Segundo ABNT (1992a), a velocidade máxima através da grade deve ser 1,2 m/s, para vazão máxima de final de plano, enquanto a perda de carga mínima a ser considerada no cálculo para grades de limpeza manual é de 0,15 m e para limpeza mecanizada é de 0,10 m. No caso de grade mecanizada, as limpezas podem ser intermitentes, podendo ser por botoeira, com comando liga/desliga, por meio de um temporizador ou automaticamente através de dispositivo indicador de diferencial de nível de esgoto antes e após o gradeamento, acionando automaticamente a limpeza da grade.

e) Acondicionamento e destino do material removido

Os materiais removidos do gradeamento podem ser dispostos em contêiner ou conduzidos a um processo para evitar emissão de odores e proliferação de insetos. Esses materiais podem ser lavados com jatos d'água manual ou por um processo mecanizado, como emprego de transportadores de rosca sem fim; e secados para eliminar a umidade que geralmente é de 50 a 80%. A redução de volume pode ser por simples drenagem ou por dispositivos mecânicos, como: prensa, parafuso sem fim e transportadores. Quando necessário, utiliza-se óxido de cálcio (CaO) para inibir odores e evitar a proliferação de insetos (JORDÃO; PESSÔA, 2005) .

Segundo Teixeira et al. (2005), a quantidade de material produzida é pequena, cerca de 70 a 100 mg de sólidos/hab.dia, e o material retido é de difícil biodegradação, indicando o aterro sanitário como candidato natural à destinação final deste material. E ainda, segundo a ABNT (2004a), quanto à patogenicidade, os resíduos de estações de tratamento de esgoto não são classificados como perigosos.

Outro destino para esse material retido, pode ser a incineração, que pode ser feita após secagem parcial a uma temperatura acima de 700 °C. Os incineradores exigem o emprego de um combustível auxiliar (gás, óleo ou carvão) AZEVEDO NETTO *et al.*, (1977).

2.1.1.2 Remoção de areia

Segundo a ABNT (1992b), a caixa de areia ou desarenador destina-se a remover do esgoto partículas de tamanho igual ou superior a 0,2 mm, com massa específica de 2,65 g/cm³. As partículas removidas são minerais (areia, pedrisco, silte, cascalho) e uma pequena quantidade de matéria orgânica (grãos em geral, frutas e verduras). Também são encontrados nos esgoto fibras, estopas, gorduras, palitos, plásticos, dentre outros materiais lançados indevidamente. A areia presente no esgoto tem origem dos quintais e pisos, águas pluviais e infiltração da rede coletora. Variações bruscas na remoção da areia estão relacionadas com a conservação, manutenção e obras do sistema de coleta e transporte (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

As finalidades da remoção de areia, segundo Metcalf e Eddy (1991), são eliminar ou abrandar os efeitos nas instalações de jusante; evitar assoreamento do corpo receptor; evitar abrasão nos equipamentos e tubulações; reduzir a possibilidade de avarias e obstruções

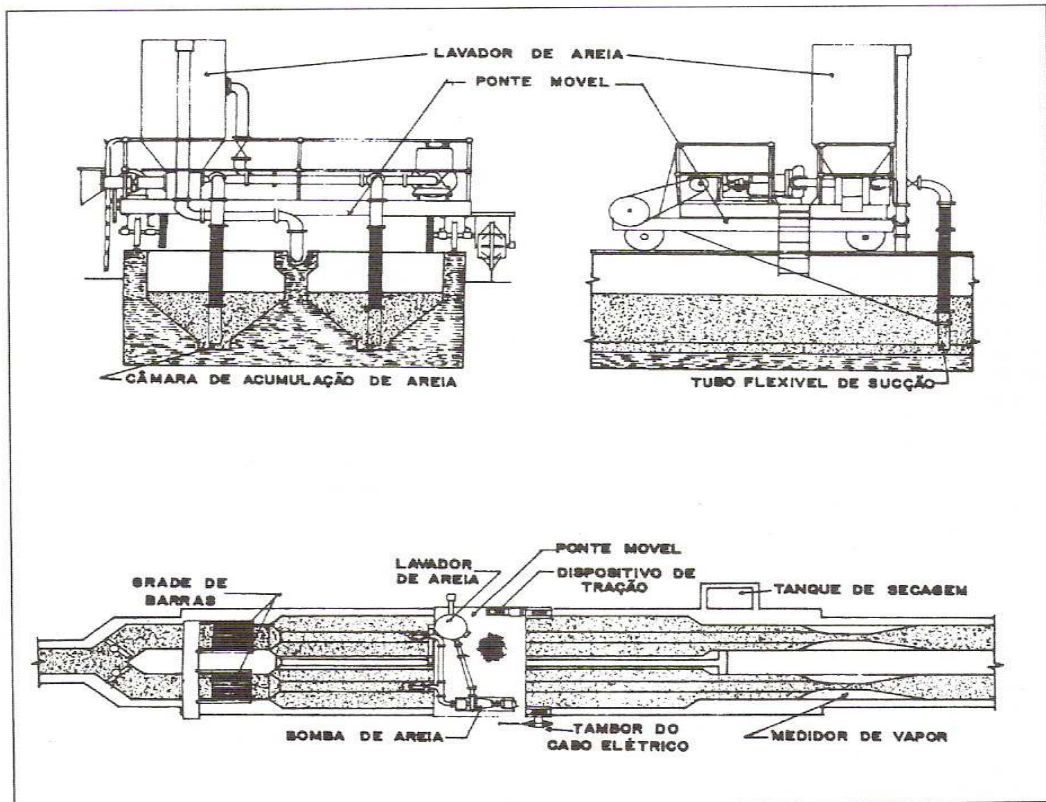
nas unidades da estação e facilitar o manuseio e transporte das fases líquida e sólida nas unidades da ETE.

A sedimentação de sólidos por gravidade remove partículas com diâmetros variando de 0,1 a 0,4 mm e, geralmente, no esgoto doméstico, pretende-se remover partículas com diâmetro mínimo de 0,2 mm. Em caixa de areia retangular por gravidade é usual a velocidade do fluxo horizontal de escoamento em torno de 0,30 m/s. Velocidades em torno de 0,15 m/s ocorrem sedimentação de matéria orgânica, ocasionando odores em virtude de decomposição das partículas orgânicas.

Segundo Marais e Haandel (1996), para que haja um desempenho adequado de uma caixa de areia é necessário que a velocidade do líquido se mantenha aproximadamente constante, mesmo quando a média de vazão varia.

a) Dispositivo de remoção de areia

A areia é acumulada continuamente na caixa de areia, sendo necessária sua remoção periódica, que pode ser de forma manual ou mecanizada. Nas limpezas manuais devem-se possuir duas unidades, para que possa paralisar uma para realização da limpeza enquanto que a outra permanece em funcionamento, ou um dispositivo de *by pass*, para desvio do esgoto afluente da caixa de areia. Nas limpezas mecanizadas, instaladas geralmente em estações maiores, a areia é retirada continuamente através de dispositivos como o que pode ser visto na Figura 4. Os sistemas de transporte de areia mais usuais são: esteiras, caçambas, raspadores, *air lift*, parafusos sem fim, bombas especiais. Após a remoção de areia, esta pode passar por dispositivo de lavagem, objetivando remoção de matéria orgânica e posterior diminuição do teor de umidade (JORDÃO; PESSÔA, 2005).



Fonte: Jordão; Pessoa (2005).

Figura 4 – Desarenador retangular com limpeza mecanizada.

b) Quantidade de material removido

A quantidade de material removido depende dos costumes locais, da rede coletora e do sistema de retenção da areia adotado, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Remoção de areia segundo diferentes autores e origens.

| Autor ou Referência | Origem | Faixa min. e máx. $10^{-5} \text{m}^3/\text{m}^3$ | | Média $10^{-5} \text{m}^3/\text{m}^3$ |
|--------------------------|------------|--|-----|--|
| Mara, D | Escocesa | - | 17 | 5 a 10 |
| Meticalf e Eddy | Americana | 0,03 | 18 | - |
| Imhoff, K (1) | Alemã | 6,8 | 16 | - |
| Dregrémont (1) | Francesa | - | 16 | - |
| Azevedo e Hess | Brasileira | 1,3 | 4 | 1,5 a 2,9 |
| ETE Pinheiros (2) | Brasileira | 0,3 | 7,3 | 4,1 |
| ETE V. Leopoldina (2) | Brasileira | - | 2,2 | 1,2 |

Fonte: Jordão; Pessoa (2005).

(1) Valores transformados com base em 200 L/hab.dia

(2) Valores reais medidos entre jan/76 a mar/77

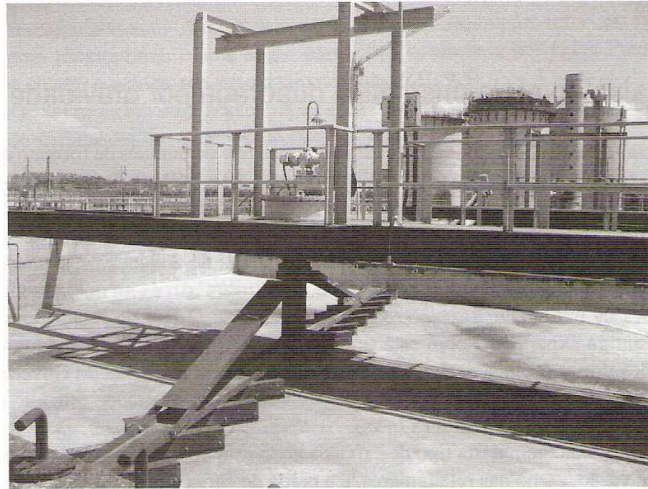
c) Tipos de caixa de areia

Jordão e Pessoa (2005) classificam as unidades da caixa de areia em função das seguintes características:

- ♣ quanto à forma: prismática (seção retangular ou quadrada), cilíndrica (seção circular);
- ♣ quanto à separação sólido-líquida: por gravidade (natural e aerada), por centrifugação (vórtex e centrífuga);
- ♣ quanto à remoção: manual, ciclone separador, e mecanizada (raspador, bombas centrífugas, parafuso, *air lift*, caçambas transportadoras); e
- ♣ quanto ao fundo: plano (prismática com poço), inclinada (prismática aerada), e cônico (vórtex).

As caixas de areia prismáticas retangulares por gravidade são do tipo mais simples e convencional, podendo ser de limpeza manual ou mecanizada. São constituídas de seção retangular, no fundo das quais existem outras câmaras de dimensões menores para acumular o material sedimentado (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

As caixas de areia prismáticas quadradas por gravidade (Figura 5) são tanques de formato quadrado em planta, geralmente de pouca profundidade (entre 1,10 e 1,60 m), de limpeza mecanizada, cujo fenômeno se baseia no princípio da sedimentação. As vantagens deste tipo de caixa de areia é que não é necessário o controle de vazão, como nas retangulares, e a perda de carga é mínima. Além de ter mecanismo de limpeza, possuem operação e manutenção simples e de fácil execução. A desvantagem é que em conjunto com a areia sedimentam também partículas de matéria orgânica que são mais pesadas exigindo, portanto, sistema de lavagem de areia (JORDÃO; PESSÔA, 2005).



Fonte: Jordão; Pessoa (2005).

Figura 5 – Caixa de areia quadrada por gravidade da ETE Alegria, Rio de Janeiro, RJ.

A caixa de areia tipo vórtex possui o princípio do movimento do fluxo em espiral-cônico, formando um vórtex. O líquido entra na unidade tangencialmente à parede da caixa de areia, de formato cônico, que faz com que o material a ser retido se acumule no fundo em um poço central. A areia acumulada no fundo é retirada por um sistema de *air lift*. Esta unidade pode ter também um pequeno braço no seu interior, em movimento circular, com o objetivo de manter as partículas orgânicas em suspensão. As vantagens desta caixa de areia são ocupar pequeno espaço, tempo de detenção de meio minuto, perda de carga mínima, boa remoção de areia, inclusive as de granulometria mais fina (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

A caixa de areia aerada caracteriza-se pela introdução de ar comprimido através de um dispositivo com aspersores localizados próximos ao fundo do tanque, com a finalidade de promover um fluxo helicoidal, de velocidade padrão, com eixo paralelo ao escoamento do esgoto na câmara de sedimentação. As partículas com velocidade de sedimentação maior depositam-se na câmara de acumulação de areia, enquanto as partículas de matéria orgânica são arrastadas pela velocidade do fluxo da caixa, seguindo para a próxima etapa (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

A forma da caixa de areia aerada é prismática, com seção horizontal retangular e seção transversal quadrada ou retangular. Recomenda-se uma relação comprimento/largura de 2,5:1 a 5:1. A relação largura/profundidade mais comum é de 1:1, com inclinação do fundo em direção ao depósito de areia. O formato da caixa tem que promover o redemoinho, movimento helicoidal, e evitar o curto circuito hidráulico do fluxo. Os dispositivos de entrada

e saída são importantes, devendo ser perpendiculares ao fluxo de escoamento, dotados de anteparos com a finalidade de dissipar energia e minimizar curto-circuito (JORDÃO; PESSÔA, 2005). Na Figura 6, apresenta-se a caixa de areia aerada da ETE – Goiânia.



Figura 6 – Caixa de areia aerada – ETE – Goiânia: a) vista do prédio ; b) vista de uma unidade; c) detalhe das bombas de sucção de areia; d) vista do classificador de areia.

O tempo de detenção hidráulico (TDH) da caixa de areia aerada varia de 2 a 5 minutos, sendo que o tempo de 3 minutos é suficiente para reter 95% das partículas com diâmetro de 0,2 mm e densidade igual a 2,6 g/cm³. O movimento helicoidal é induzido pelo ar difuso, distribuído ao longo do tanque, não tendo interferência da vazão afluyente à caixa. Portanto, a caixa de areia aerada tem capacidade de assimilar grandes variações de vazões. O comportamento e a eficiência desta unidade estão diretamente relacionados à velocidade longitudinal e transversal, a qual deve ser inferior a 0,225 m/s (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

A velocidade tangencial periférica depende predominantemente da quantidade de ar introduzido na massa líquida contida no tanque. Esta velocidade varia ao longo da seção transversal, entre 0 e 0,40 m/s. O suprimento de ar deve ser calculado para vazão máxima, sendo a quantidade mínima: 0,27 m³/min.m linear da caixa de areia; a quantidade máxima: 0,74 m³/min.m e a quantidade média: 0,45 m³/min.m. Os difusores de ar podem ser tipo bolha média ou grossa e deverão estar localizados a uma distância do fundo do tanque de 0,60 a 1,0 m (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

2.1.2 Tratamento primário

Tratamento primário é um processo utilizado nas unidades de tratamento de esgoto que objetiva reduzir sólidos suspensos totais (SST) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO); porém, estas remoções são baixas, necessitando de outras etapas subsequentes para completar o tratamento. O desempenho destas unidades minimiza problemas operacionais no processo de tratamento biológico, reduzindo a DBO e a energia consumida para oxidação de material particulado. No tratamento primário, também se removem materiais flutuantes, como gorduras (WEF, 1992).

O tratamento primário também homogeneiza e equaliza as variações de vazões, protegendo a próxima etapa do tratamento. Os projetos do processo de tratamento primário têm um impacto econômico na operação e manutenção das próximas unidades de tratamento. Os métodos de tratamento primário mais comuns são: sedimentação, com coleta de espuma, e coleta e remoção do lodo sedimentado; pré-aeração ou floculação mecânica; digestão e secagem de lodo de sistemas anaeróbios; lagoa anaeróbia, tanque séptico, tanque *imhoff* e reator anaeróbio de fluxo ascendente (WEF, 1992).

2.1.2.1 Sedimentação e decantação

Os esgotos sanitários contêm partículas suspensas mais pesadas do que a água, as quais tendem a sedimentar por gravidade em determinadas condições. Os projetos dos decantadores são baseados na teoria da sedimentação das partículas (WEF, 1992).

A sedimentação das partículas em suspensão depende de sua natureza e sua concentração. De acordo com Jordão e Pessôa (2005), a sedimentação pode ser classificada em três tipos:

- ♣ **sedimentação discreta** – ocorre em partículas que não floculam, nem se aglomeram umas às outras, mantendo sua forma, volume e densidade inalterados durante o processo de sedimentação. A sedimentação das partículas na caixa de areia se assemelha a este processo. Essas partículas, quando estão em um líquido em repouso, sedimentam com a aceleração da gravidade, mesmo com ação contrária à da força de

empuxo e de atrito. A velocidade de sedimentação é uniforme, sendo a trajetória de sedimentação nos decantadores uma reta;

- ♣ **sedimentação flocculenta** – ocorre em partículas flocculentas, que se apresentam em pequena concentração, flocculam formando partículas maiores e a velocidade de sedimentação cresce com o tempo, como pode ser observado nos decantadores primários. Os aglomerados formados durante a sedimentação, pela flocculação das partículas, são de diferentes tamanhos, formas e pesos. A trajetória de sedimentação é uma curva, mesmo nos decantadores retangulares, pois elas ganham maior velocidade à medida que aumentam de tamanho e ganham peso;
- ♣ **sedimentação em massa** – é verificado em partículas coesivas, que se apresentam em suspensão em altas concentrações, sedimentando como uma massa única, separando líquido e material em sedimentação, ocorrendo também no adensamento do lodo já sedimentado. Um exemplo deste tipo de sedimentação são os decantadores secundários.

Decantadores são unidades instaladas após o tratamento preliminar, nos quais, em determinadas condições de tranqüilidade, ocorre a deposição de sólidos orgânicos e inorgânicos para sua posterior remoção. Possuem finalidade de remoção de sólidos sedimentáveis do esgoto para posterior lançamento no corpo receptor ou serem encaminhados ao tratamento secundário. Os decantadores primários possuem eficiência de remoção de sólidos suspensos de 40 a 60%, e de DBO de 25 a 35%, além de possuírem dispositivo de remoção de gordura, espuma e pequenos sólidos flutuantes (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Conforme Jordão e Pessôa (2005), as características do projeto e construção, os decantadores podem ser classificados quanto:

- ♣ **a forma** - circular e retangular;
- ♣ **ao fundo** - fundo pouco inclinado, fundo inclinado e fundo com poço de lodo;
- ♣ **ao sistema de remoção de lodos** - mecanizado e de limpeza manual (pressão hidráulica);
- ♣ **ao sentido do fluxo** - horizontal e vertical;
- ♣ **ao acionamento, nos decantadores circulares** - de tração central e de tração periférica.

A sedimentação das partículas nos decantadores está relacionada à velocidade de escoamento do esgoto dentro do tanque, que é a taxa de escoamento superficial. Outro aspecto importante é o tempo de detenção hidráulico do decantador, normalmente duas horas são suficientes para a sedimentação das partículas. Segundo a ABNT (1992b), adota-se o tempo de, no mínimo, uma hora para a vazão máxima, e tempo máximo de até seis horas para a vazão média. Tempos demasiadamente longos podem tornar o esgoto séptico, gerar maus odores e gases que afloram à superfície, carregando partículas de lodo para a superfície que se perdem no efluente final.

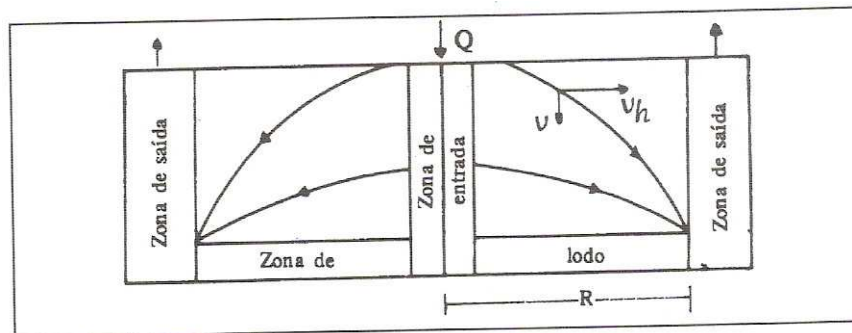
O lodo retido nos decantadores não pode ser arrastado ou levantado pelo fluxo dos esgotos, procurando obter uma maior concentração possível de sólidos. O teor de sólidos encontrados nos decantadores primários está na faixa de 2 a 5%, sendo, normalmente, menores que 4%, dependendo das condições de acumulação no poço de lodo do decantador e de sua retirada (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Os tipos de decantadores mais comuns são os retangulares e circulares e segundo WEF (1992), os preferidos por empresas projetistas são os circulares (Figura 7). Estes podem ser de limpeza mecanizada ou manual. Os decantadores retangulares possuem de 15 a 90 m de comprimento, 3 a 24 m de largura e profundidade acima de 2 m; enquanto os decantadores circulares podem possuir de 3 a 90 m de diâmetro e profundidade entre 2,4 a 4,0 m, porém não se recomendam diâmetros maiores que 38 m (WEF, 1992).



Figura 7 – Decantador primário tipo circular da ETE – Goiânia.

Os aspectos construtivos mais importantes dos decantadores circulares são os dispositivos de entrada, sistema de limpeza e arraste do lodo e dispositivos de saída. Os decantadores circulares são, geralmente, alimentados através de uma tubulação central, que na parte superior é circundado por um defletor, com a finalidade de dissipar a energia do esgoto afluente e garantir a distribuição homogênea no tanque. Na Figura 8, pode-se observar as trajetórias das partículas individuais no tanque ideal circular. O sistema de limpeza e arraste de lodo pode ser mecanizado ou não, sendo que neste último, a retirada do lodo é feita por carga hidrostática Metcalf e Eddy (1991).



Fonte: Jordão; Pessoa (2005).

Figura 8 – Trajetória das partículas individuais no tanque ideal circular.

Nos decantadores retangulares, a entrada do esgoto é transversal, com dispositivo de distribuição uniforme. O sistema de limpeza e arraste do lodo pode ser mecanizado ou não, podendo este último ter poço de acumulação do lodo intermediário localizado no sentido do comprimento do decantador. Os poços de lodo dos decantadores mecanizados são localizados junto à extremidade de montante, devendo ter paredes bastante inclinadas para facilitar a acumulação do lodo no fundo (METCALF e EDDY, 1991). Os dispositivos de saída do esgoto dos decantadores são através de vertedores ao longo da parede de jusante do decantador com taxa de aplicação de até $720 \text{ m}^3/\text{m.d}$, segundo norma ABNT (1992b).

2.1.2.2 Tratamento primário quimicamente assistido

No tratamento de água, a finalidade da coagulação e da floculação é transformar as impurezas que se encontra em suspensão fina, em estado coloidal ou em solução, bactérias, protozoários e, ou, plâncton em partículas maiores (flocos) para que possam ser removidas

por sedimentação e, ou, filtração ou, em alguns casos, por flotação (CAMPOS; POVINELLI, 1987). Esse mesmo conceito pode também ser aplicado no tratamento de esgotos sanitários.

A adição de reagentes químicos no esgoto com o objetivo de promover a coagulação química e floculação, visando aumentar a eficiência da sedimentação primária, vem sendo denominada de Tratamento Primário Quimicamente Assistido (TPQA) ou Tratamento Primário Avançado (TPA); porém, tem sido comum a utilização da terminologia em inglês *Chemical Enhanced Primary Treatment* (CEPT) (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Segundo Met Calf e Eddy (1991), a precipitação química no tratamento de esgoto altera o estado físico das partículas suspensas e dissolvidas, facilitando sua remoção no processo de sedimentação. Em muitos casos, a alteração é pequena, e o efeito da remoção está na redução da matéria orgânica e dos sólidos suspensos pelo processo de coagulação na fase primária. Outro resultado da adição de produtos químicos é o incremento na remoção de sólidos dissolvidos encontrados no esgoto. O processo químico em conjunto com várias operações físicas, pode promover um tratamento secundário completo, incluindo a remoção de fósforo e nitrogênio. A utilização do TPQA apresenta por outro lado, custo operacional elevado, em função da utilização de produtos químicos, e geração de elevadas quantidades de lodo.

Conforme WEF (1992), coagulação química do esgoto antes da sedimentação promove floculação, aumentando a remoção de SST, DBO e fósforo. Sedimentação com floculação remove 60 a 90% de SST, 40 a 70% de DBO, 30 a 60% de carbono orgânico total, 70 a 90% de fósforo e 80 a 90% de microrganismos termotolerantes. Já a sedimentação sem coagulação pode remover somente 40 a 70% de SST, 25 a 40% de DBO, 5 a 10% de fósforo e 50 a 60% de microrganismos termotolerantes.

Segundo Metcalf e Eddy (1991), a utilização de produtos químicos no tratamento de esgotos, através de precipitação química, foi descoberta em 1762. Tal procedimento de tratamento foi muito utilizado na Inglaterra por volta de 1870, adicionando como agente de precipitação cloreto de cálcio, cloreto de magnésio, sulfato de alumínio, sulfato ferroso, entre outras substâncias. No início da década de 1930, registraram-se algumas tentativas de desenvolvimento de novos métodos de tratamento químico, que foram implantados em algumas ETEs, sendo que a partir de 1971 iniciou-se o aumento do interesse no uso dessa tecnologia. Conforme Riccitelli; Semura; Zelmikaitis (2005), em uma estação na Califórnia (EUA), procurando atender às exigências ambientais, adotou a tecnologia do TPQA, com a finalidade de melhorar sua eficiência no tratamento primário, para posterior disposição no

oceano através de um emissário. Foram utilizados cloreto férrico e polímero aniônico, chegando a uma remoção de sólidos suspensos de 75%.

O tratamento químico também foi muito utilizado nos Estados Unidos da América, no período de 1890 até o começo de 1900; porém, com o desenvolvimento do tratamento biológico, abandonou-se a utilização dos produtos químicos para tratamento dos esgotos (RICCITELLI; SEMURA; ZELMIKAITIS, 2005).

As ETEs *Encina Wastewater Authority* da cidade de San Diego, *Hyperion Treatment Plant* da cidade de Los Angeles e *Orange County Sanitation District* (OCSD), da Califórnia (USA), utilizam o TPQA, e obtiveram os resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Pontos de aplicação e dosagens de produtos químicos e eficiências de remoção de DBO e SST de ETEs do estado da Califórnia (USA).

| ETEs | Locais de aplicação de produtos químicos | Dosagens (mg/L) | | Eficiência DBO (%) | Eficiência SST (%) |
|----------|---|-------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|
| | | FeCl ₃ | Polieletrólito aniônico | | |
| OCSD | FeCl ₃ após a caixa de areia e polieletrólito na caixa de distribuição de vazão para os decantadores | 20,0 | 0,2 | 56 | 86 |
| Encina | FeCl ₃ a montante da caixa de areia aerada e polieletrólito após a mesma | 12,5 | 0,6 | 56 | 80 |
| Hyperion | FeCl ₃ e polieletrólito após a caixa de areia | 8,0 | 0,2 | 55 | 75 |

Fonte: SANEAGO (2003).

Em 1997, na cidade de Hong Kong foi colocada em operação uma estação de tratamento de esgoto com capacidade para 20 m³/s, adotando o tratamento primário quimicamente assistido (TPQA), seguido de disposição oceânica, obtendo-se remoções de 85% de SST e 74% de DBO (RICCITELLI; SEMURA; ZELMIKAITIS, 2005).

Outros exemplos mais recentes da utilização do TPQA encontram-se nas cidades do México, Honolulu e Montreal. No Brasil existem as seguintes unidades que adotam esse processo: as ETEs Sarapuí (3 m³/s) e Pavuna (3 m³/s), no Rio de Janeiro; Virgem Santa (0,4 m³/s) e Aeroporto (0,1 m³/s) em Macaé; Cabo Frio (0,6 m³/s) e Búzios (0,1 m³/s) na região dos lagos do Estado do Rio de Janeiro (JORDÃO; PESSÔA, 2005)..

Segundo Tsukamoto (2002), a instalação do TPQA entre o tratamento primário e a lagoa anaeróbia, no sistema de tratamento de esgoto da cidade turística Riviera de São Lourenço, localizada em meio à mata atlântica no estado de São Paulo, permitiu um atendimento a uma população que varia de 7 mil a 65 mil pessoas com remoção de 80 a 95% de SST, 55 a 75% de DQO, 50 a 66% de DBO, e 82 a 87% do P. O odor desapareceu completamente e a operação das lagoas anaeróbias e facultativas foi duplamente beneficiada graças às menores cargas orgânicas e de fósforo.

No TPQA pode-se utilizar a Taxa de Aplicação Hidráulica Superficial (TAS) de até $100 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, enquanto no decantador primário convencional admite-se TAS compreendidas entre 40 e $60 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, dependendo do processo de tratamento secundário subsequente. Na ETE – Goiânia, a TAS adotada para os decantadores primários na etapa atual tem sido de $77 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$. A obtenção de maiores eficiências de remoção associadas à redução da produção de lodo e à elevação da TAS é fundamental para direcionar estudos para o conhecimento mais aprofundado da relação entre os coagulantes e os dispositivos de mistura (FIGUEIREDO et al., 2005).

2.1.2.3 Processo da coagulação química

Os coagulantes mais utilizados no tratamento de esgoto são os sais de alumínio e de ferro. Os sais de ferro são os coagulantes mais utilizados na fase primária do tratamento de esgoto. A seleção do coagulante para sedimentação é baseada na eficiência de remoção de carga orgânica de SST, confiabilidade e custo. Para avaliação da eficiência, utiliza-se o ensaio de floculação para determinação da dosagem. Experiência operacional, custo, volume de lodo gerado, inibição de odores e outras informações são considerados durante a seleção do coagulante. Polímeros orgânicos são, muitas vezes, utilizados como auxiliares da coagulação.

Segundo Ferreira Filho *et al.* 1996 *apud* Cipriani *et al.* (2005), os sais férricos para estações com sobrecarga hidráulica ou que apresentem grande densidade de microrganismos, como pode ser encontrado no esgoto, tem-se preferido o emprego de sais de ferro em relação aos coagulantes inorgânicos à base de alumínio. Esta preferência é motivada primordialmente pela maior capacidade de floculação, com formação de flocos mais densos e de maiores dimensões físicas, quando comparados com os flocos formados pela adição de sais de alumínio e também pelas suas maiores velocidades de sedimentação.

O cloreto férrico é o coagulante mais utilizado em sistemas de tratamento de esgotos por possuir alto grau de pureza, porém possui custo elevado. O sulfato férrico tem custo mais baixo, mas possui altas quantidades de alguns elementos químicos, como o manganês, requerendo, portanto, avaliações quanto à qualidade do efluente final e do lodo gerado após o processo de decantação. O sulfato de alumínio possui o inconveniente da presença do alumínio no composto, cuja presença no lodo não é desejável, pois prejudica a disposição deste resíduo no solo.

A coagulação, geralmente obtida pela adição de sais de alumínio e de ferro, resulta primeiro, em um fenômeno químico, que consiste nas reações do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas com cargas positivas e depende da concentração do metal e pH final da mistura; e segundo, em um fenômeno físico, que consiste no transporte das espécies hidrolisadas para que haja contato entre as impurezas presentes no líquido. (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Na Tabela 5, encontram-se apresentadas as faixas de gradientes e tempos de detenção típicos para o processo de mistura rápida e floculação em esgoto sanitário, segundo Fonte: Metcalf e Eddy (1991).

Tabela 5 – Gradiente de velocidade típico e tempo de detenção do processo de tratamento de esgoto.

| Operação/Processo | Faixa de valores | |
|-------------------|-------------------|--------------------------------------|
| | Tempo de detenção | Gradiente de velocidade (s^{-1}) |
| Mistura rápida | 5 a 20 s | 250 a 1.500 |
| Floculação | 10 a 30 min | 20 a 80 |

Fonte: Metcalf e Eddy (1991).

Como as partículas coloidais, substâncias húmicas e microrganismos em geral possuem, geralmente, cargas elétricas negativas no meio líquido, é necessário alterar a força iônica do meio, o que pode ser feito pela adição de sais de ferro ou de alumínio, ou polímeros catiônicos, caracterizando o fenômeno de coagulação. Atualmente, considera-se a coagulação como o resultado individual ou combinado da ação de quatro mecanismos distintos (DI BERNARDO; DANTAS, 2005):

- ♣ **compressão da dupla camada elétrica** – Concentrações elevadas de íons positivos e negativos no meio aquoso acarretam acréscimo do número de íons na camada difusa, para se manter eletricamente neutra, ocorrendo a diminuição desta camada, permitindo

que as forças de *van der Waals* sejam dominantes, eliminando a estabilização eletrostática.

- ♣ **adsorção e neutralização de cargas** – Quando ocorre a adição de sais de alumínio e de ferro ou polímero catiônico em meio aquoso, esses hidrolisam ocorrendo a adsorção específica, ocasionada entre o coagulante e o colóide, neutralizando parte da carga dos mesmos, obtendo partículas desestabilizadas.
- ♣ **varredura** – Dependendo da quantidade de coagulante adicionada, do pH da mistura e da concentração de alguns tipos de íons no meio aquoso, poderá ocorrer a formação de um precipitado tipo $\text{Al}(\text{OH})_3$ ou $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Em geral, os flocos obtidos com esse mecanismo são maiores e sedimentam ou flutam mais facilmente, sendo utilizado no tratamento de esgoto.
- ♣ **adsorção e formação de pontes** - Os mecanismos de adsorção e formação de pontes caracterizam-se por envolver os polímeros de cadeias moleculares grandes, servindo de ponte entre as superfícies que estão aderidas e outras partículas.

Segundo Silva e Silva (2005), nos ensaios de *jar test* comparando-se cloreto férrico (FeCl_3) e sulfato férrico [$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$] nas dosagens médias indicadas no projeto na ETE – Goiânia, o cloreto férrico apresentou remoções médias de SST de 8,1 % e de DBO 5,6 %, maiores que o sulfato férrico, porém com custo 21% maior.

Conforme manual de operação da ETE – Goiânia (2005), a dosagem de coagulante varia de 10 a 40 mg/L, com média de 25 mg/L, enquanto que a dosagem recomendada de polieletrólito é de 0,2 a 2,0 mg/L, com média de 0,5 mg/L. Segundo Rezende (2003), foram encontrados resultados de remoção de DBO dentro do recomendado em projeto para dosagens médias de polieletrólito e cloreto férrico, para a ETE – Goiânia.

Conforme Silva e Silva (2005), com dosagem polieletrólito de 0,8 mg/L, acima da média, consegue-se diminuir a dosagem de coagulante (cloreto férrico ou sulfato férrico), para valores abaixo da média (15 mg/L), com resultados dentro do esperado no projeto da ETE – Goiânia e obtendo, portanto, um custo menor com o processo de coagulação e floculação.

O controle da dosagem de coagulante utilizando ferramentas de predição, aplicada nos parâmetros laboratoriais das características do esgoto bruto, é muito importante em uma estação de tratamento. As dosagens de coagulante são feitas de acordo com as características do esgoto que chega à estação, reduzindo a quantidade de produtos químicos utilizados no

tratamento e conseguindo uma estabilidade maior da qualidade do efluente da estação. (RATNAWEERA, 2004).

2.1.3 Tratamento secundário

O tratamento secundário possui a finalidade de remoção da matéria orgânica remanescente dos tratamentos primários, podendo ser realizados por vários processos, pois se verifica que, na maioria dos casos, o nível de tratamento não atinge o padrão necessário para que o efluente possa ser lançado no corpo receptor. Assim, quase sempre é necessário o tratamento secundário, que visa remover os sólidos dissolvidos, bem como os sólidos finamente particulados, não removidos no tratamento primário. O processo de tratamento secundário tem na sua essência uma etapa biológica, onde organismos consomem a matéria orgânica presente no esgoto (SPERLING, 1996).

Segundo BRANCO (1986), no tratamento biológico de esgotos procura-se repetir, em ambiente restrito e em um curto espaço de tempo, os processos que se verificam na natureza, como a correnteza de um rio, ou em um lago, com relação à autodepuração, sendo necessário propiciar no esgoto as condições ideais para a proliferação, principalmente das bactérias, principais organismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica.

O tratamento secundário geralmente inclui unidades de tratamento preliminar, e pode ou não incluir unidade de tratamento primário. Existe uma grande variedade de tipos de tratamento, sendo os principais sistemas, segundo Sperling (1996):

- ♣ Sistemas de lagoas de estabilização;
- ♣ Sistemas de lodos ativados;
- ♣ Sistemas de filtros biológicos;
- ♣ Sistemas anaeróbios;
- ♣ Sistemas de disposição no solo.

Dentre os sistemas citados para tratamento secundário do esgoto doméstico, destacam-se os mais utilizados: os sistemas anaeróbios, as lagoas de estabilização e os sistemas de lodos ativados.

2.1.3.1 Sistemas de lodos ativados

O sistema de lodos ativados é amplamente utilizado no Brasil e em outros países tanto para tratamento de esgoto doméstico como industrial, em situações onde se necessita tratar uma elevada quantidade de efluente e se dispõe de reduzida área. As seguintes unidades são partes integrantes da etapa biológica de lodos ativados (SPERLING, 1997):

- ♣ tanque de aeração (reator)
- ♣ tanque de decantação (decantador secundário)
- ♣ recirculação do lodo

No reator de lodos ativados ocorrem as reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica e, em determinadas condições, da matéria nitrogenada. A biomassa utiliza o substrato presente no efluente do decantador primário para se desenvolver. No decantador secundário ocorre a sedimentação dos sólidos (biomassa), permitindo que o efluente final saia clarificado. Parte dos sólidos, sedimentada no fundo do decantador secundário, é recirculada para o tanque de aeração, aumentando a biomassa dentro do reator e, conseqüentemente, a eficiência do sistema (SPERLING, 1997).

A biomassa decanta facilmente no decantador secundário devido à sua propriedade de flocular, por possuir uma matriz gelatinosa que aglutina bactérias e outros microrganismos. Com a recirculação de lodo para o tanque de aeração, aumenta a concentração de sólidos em suspensão em até dez vezes em relação a uma lagoa aerada de mistura completa (SPERLING, 1997).

O tempo de detenção do líquido dentro do reator é de horas, enquanto o do lodo é de dias. Para se manter o equilíbrio de biomassa dentro do tanque de lodo, é retirada, aproximadamente, a mesma quantidade de biomassa que a aumentada pela reprodução das bactérias. Este lodo é chamado lodo biológico, o qual é encaminhado para a etapa de tratamento de lodo. O sistema de lodos ativados pode ser adaptado para remoção de fósforo e nitrogênio, o que é muito utilizado em outros países (SPERLING, 1997).

Segundo Sperling (1997), o sistema de lodos ativados pode ser dividido quanto à idade do lodo, lodos ativados convencional e aeração prolongada; e quanto ao fluxo do esgoto, contínuo e intermitente (batelada).

a) Lodos ativados convencional

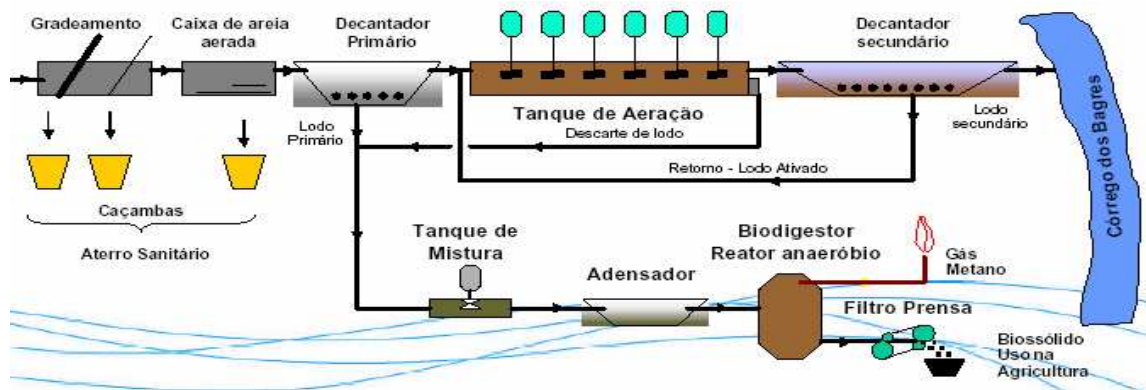
No sistema de lodos ativados convencional, parte da matéria orgânica em suspensão é retirada no decantador primário, isto é, antes do tanque de aeração, sendo essa unidade parte integrante do sistema. No reator, a idade do lodo é da ordem de quatro a dez dias, e o tempo de detenção hidráulica é em torno de seis a 80 horas. Com essa idade do lodo, a biomassa ainda contém um elevado teor de matéria orgânica, requerendo uma estabilização na fase do tratamento de lodo.

b) Lodos ativados aeração prolongada

Quando a biomassa permanece no sistema por um período mais longo, em torno de 18 a 30 dias, com o recebimento de uma mesma carga orgânica que o sistema convencional, haverá menor disponibilidade de alimento, e as bactérias utilizam no seu processo de metabolismo a matéria orgânica do próprio organismo para sobreviverem. Para tanto, é necessário um tempo de detenção em torno de 16 a 24 horas. Dessa forma, a grande vantagem desse sistema é a produção de um lodo estabilizado, não necessitando de processo posterior para digestão do lodo (SPERLING, 1997).

2.1.4 Geração de lodo nas estações de tratamento de esgotos

Os processos de tratamento de esgoto em suas diversas fases geram lodos com composição e quantidades variáveis. Encontra-se apresentado na Figura 9, o desenho esquemático de um sistema de lodos ativados, salientando as unidades geradoras de detritos, areia e lodo.



Fonte: SABESP (2005).

Figura 9 – Sistema de tratamento de esgotos tipo lodos ativados.

Os seguintes resíduos sólidos podem ser gerados no tratamento de esgoto: material gradeado, areia, espuma, lodo primário, lodo secundário e lodo químico (ANDREOLI et al., 2001).

2.1.4.1 Aspectos qualitativos

A escolha dos processos de tratamento e disposição final dos lodos está fundamentada em fatores constituintes: a matéria orgânica; os nutrientes; os organismos patogênicos; os metais pesados, os produtos químicos orgânicos: e substâncias tóxicas (Andreoli, 1999).

Segundo Santos e Tsutiya (1997), o lodo de esgoto contém três nutrientes essenciais para o crescimento das plantas: nitrogênio (N), fósforo (P, como P_2O_5) e potássio (K, como K_2O). Entretanto, a quantidade dos nutrientes do lodo é menor que a encontrada em fertilizantes comerciais, sendo que, no lodo digerido, a relação é da ordem de 3,0:2,5:1,0 (N: P: K).

Segundo Andreoli (1999), o lodo gerado no processo de tratamento de esgoto contém bactérias, vírus, protozoários, etc. Apenas uma pequena quantidade destes organismos pode ser patogênica. Recomenda-se que o lodo primário sem estabilização não seja utilizado pra fins agrícolas; o lodo, em qualquer estágio de estabilização, não deve ser utilizado em hortas ou em culturas de vegetais ingeridos crus, muitos destes microrganismos possuem uma grande capacidade de sobrevivência no solo (Tabela 6).

Tabela 6 – Tempo máximo de sobrevivência de agentes patogênicos do lodo no solo.

| Agente Patogênico | Tempo de sobrevivência do lodo no solo | |
|------------------------|--|--------------|
| | Máximo absoluto | Máximo comum |
| Bactérias | 1 ano | 2 meses |
| Vírus | 1 ano | 3 meses |
| Cistos de protozoários | 10 dias | 2 dias |
| Ovos de helmintos | 7 anos | 2 anos |

Fonte: EPA (1985), *apud* Andreoli (1999).

A presença de substâncias tóxicas, compostos químicos orgânicos e metais estão, em geral, associados à presença de despejos industriais no esgoto. Na Tabela 7, encontram-se apresentadas as concentrações máximas de metais para lodo de esgoto preconizadas na legislação americana (EPA, 1996).

Tabela 7 – Limites de metais em lodo de sistema de tratamento de esgoto.

| Metais | Concentração Máxima de Metais (base seca) |
|------------|---|
| | mg/kg |
| Arsênio | 75 |
| Cádmio | 85 |
| Cobre | 4.300 |
| Chumbo | 840 |
| Mercúrio | 57 |
| Molibdênio | 75 |
| Níquel | 420 |
| Selênio | 100 |
| Zinco | 7.500 |

Fonte: EPA (1996).

Os metais pesados, principalmente cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco, em grandes concentrações, são componentes perigosos, pois inibem o tratamento biológico e são tóxicos às plantas, aos animais e ao homem. No entanto, a presença destes metais em baixas concentrações pode ser favorável, servindo como micronutrientes para as plantas (SANTOS; TSUTIYA, 1997).

Segundo Andreoli (1999), o lodo bruto proveniente do tratamento primário das ETEs, obtido pela sedimentação ou flotação, possui as seguintes características: cor acinzentada, pegajoso, odor ofensivo e facilidade de fermentação. Enquanto o lodo digerido é aquele que passou pelo processo de digestão anaeróbia e aeróbia, com redução de sólidos suspensos voláteis (SSV) superiores a 40%. Sua cor é marrom acinzentada e não possui odor ofensivo. Uma composição típica do lodo bruto e digerido é apresentada na Tabela 8.

Muitos dos componentes do lodo, incluindo nutrientes, são importantes para o tratamento e remoção de umidade do lodo. As medidas de pH, alcalinidade e ácidos orgânicos são importantes no controle de processo da digestão anaeróbia. Os teores de metais pesados, pesticidas e hidrocarbonetos têm sido determinados quando se consideram os processos de incineração e aplicação no solo.

Tabela 8 – Composição típica do lodo bruto e digerido segundo.

| Parâmetro | Lodo Bruto | | Lodo Digerido | |
|---|-----------------|--------------|-------------------|--------------|
| | Variação | Valor típico | Variação | Valor típico |
| Sólidos secos totais (ST), (%) | 2,0 – 8,0 | 5,0 | 6,0 – 12,0 | 10,0 |
| Sólidos voláteis (% do ST) | 60,0 - 80,0 | 65,0 | 30,0 – 60,0 | 40,0 |
| Graxas e gorduras solúveis (% do ST) | 60,0 – 30,0 | - | 5,0 – 20,0 | 18,0 |
| Proteínas (% do ST) | 20,0 – 30,0 | 25,0 | 15,0 – 20,0 | 18,0 |
| Nitrogênio (N, % do ST). | 1,5 – 4,0 | 2,5 | 1,6 – 6,0 | 3,0 |
| Fósforo (P ₂ O ₅ , % do ST) | 0,8 – 2,8 | 1,6 | 1,5 – 4,0 | 2,5 |
| Potássio (K ₂ O, % do ST) | 0,0 – 1,0 | 0,4 | 0,0 – 3,0 | 1,0 |
| Celulose (% do ST) | 8,0 – 15,0 | 10,0 | 8,0 – 15,0 | 10,0 |
| Ferro (% do ST) | 2,0 – 4,0 | 2,5 | 3,0 – 8,0 | 4,0 |
| Sílica (SiO ₂ , % do ST) | 15,0 – 20,0 | - | 10,0 – 20,0 | - |
| pH | 5,0 – 8,0 | 6,0 | 6,5 – 7,5 | 7,0 |
| Alcalinidade (mg/L CaCO ₃) | 500,0 – 1.500,0 | 600,0 | 2.500,0 – 3.500,0 | 3.000,0 |
| Ácidos orgânicos (mg/L H Ac) | 200,0 – 2.000,0 | 500,0 | 100,0 – 600,0 | 200,0 |

Fonte: Metcalf e Eddy (1991).

2.1.4.2 Aspectos quantitativos

A produção de lodo depende do sistema de tratamento utilizado na fase líquida. Em princípio, todos os processos de tratamento biológico geram lodo. Os processos que recebem o esgoto bruto em decantadores primários geram o lodo primário, composto pelos sólidos sedimentáveis do esgoto bruto. Na etapa biológica de tratamento é gerado o lodo biológico ou lodo secundário. Este lodo é a biomassa que foi acumulada no sistema e, caso não seja removida, pode passar para o efluente final, prejudicando sua qualidade com relação a sólidos suspensos e matéria orgânica. Em alguns sistemas, o lodo primário pode ser enviado para o tratamento juntamente com o lodo secundário, podendo ser chamado de lodo misto. Em sistemas de tratamento de esgoto que incorporam a adição de produtos químicos na etapa primária, para melhorar a decantação ou para dar polimento no efluente secundário é gerado o lodo químico (ANDREOLI et al., 2001).

Todos os sistemas de tratamento precisam retirar lodo, podendo ser de forma contínua, como nos lodos ativados, ou de forma eventual, como nos reatores anaeróbios, ou, ainda, por longos períodos, como é caso das lagoas facultativas. A quantidade de lodo gerado no tratamento de esgotos é expressa em massa e volume. A produção *per capita* de lodo pode ser expressa em Demanda Química de Oxigênio (DQO) (ANDREOLI et al., 2001).

No processo biológico de tratamento de esgotos, parte da DQO removida é convertida em biomassa, que é o lodo biológico. No processo de lodos ativados por aeração prolongada, cada quilograma de DQO afluente à etapa resulta na geração de 0,50 a 0,55 de sólidos em suspensão (0,50 a 0,55 kg SST/kg DQO aplicada). Considerando-se que cada habitante contribui em torno de 100 g DQO por dia (0,1 kg DQO/hab.dia), pode-se calcular a contribuição de SST *per capita*. Nos processos de tratamento de esgotos em que predominam mecanismos físicos de remoção de matéria orgânica, não há uma relação entre produção de sólidos e DQO. Neste caso, a produção *per capita* de SST tem por base nas eficiências típicas de remoção de SST nas etapas do tratamento de esgotos. O cálculo do volume *per capita* de lodo produzido por dia é feito com base na carga *per capita* diária e na concentração de sólidos secos (ANDREOLI et al., 2001).

Conforme Morrissey e Harleman (1992 apud BETTIOL; CAMARGO, 2000), a massa de lodo primário bruta produzida no tratamento primário quimicamente assistido é cerca de 60 % maior do que a produzida no tratamento primário convencional, o que pode ser observado na Tabela 9, referente à ETE Hyperion (EUA).

Tabela 9 – Produção relativa de lodo no tratamento primário convencional e no assistido quimicamente.

| Parâmetro | Tratamento Primário Convencional | Tratamento Primário Quimicamente Assistido |
|------------------------------------|----------------------------------|--|
| Remoção de SST (60%) | 1,00 | 1,00 |
| Remoção adicional de SST (até 38%) | - | 0,38 |
| Lodo devido aos produtos químicos | - | 0,11 |
| Lodo devido à captura de colóides | - | 0,15 |
| Produção relativa total de lodos | 1,00 | 1,64 |

Fonte: Morrissey; Harleman, 1992 *apud* Bettioli; Camargo (2000).

2.1.4.3 Principais processos de tratamento

Os principais processos de tratamento de lodo são (ANDREOLI et al., 2001):

a) digestão anaeróbia e aeróbia - O processo de estabilização da matéria orgânica obtida através da ação de população de bactérias mantidas em contato com o lodo em condições que propiciem seu crescimento e reprodução. Os processos de digestão podem ser anaeróbios, aeróbios ou a combinação de ambos;

b) estabilização química - O mecanismo de higienização de lodos utilizando alcalinizante para elevar o pH do lodo e, conseqüentemente, alterar a natureza coloidal do protoplasma celular dos microrganismos patogênicos de forma letal, e produzir um ambiente inóspito para a sua sobrevivência;

c) compostagem - A biooxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO₂, água, com liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável. A partir de um resíduo orgânico com características desagradáveis, ocorre a transformação em um composto com característica agradável, que pode ser utilizado na agricultura, o qual é isento de microrganismos patogênicos e fácil de manipulação (FERNANDES, 1999).

d) incineração e co-incineração

O processo de estabilização do lodo que propicia a maior redução no volume para disposição final. O volume de cinza residual é, normalmente, inferior a 4% do volume do lodo desaguado alimentado ao incinerador. A temperatura de exaustão atinge em torno de 800 °C;

e) secagem térmica

A aplicação de calor para evaporação da umidade presente no lodo. Após a secagem térmica, como ocorre com temperaturas em torno de 300°C, produz um lodo com teor de sólidos de 65 a 95%;

2.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS

A análise de *Cluster*, ou de agrupamento, é o nome para um grupo de técnicas multivariadas cuja finalidade é agregar resultados do monitoramento com base nas características que eles possuem. Os resultados são classificados de modo que cada um é muito semelhante aos outros, no agrupamento, em relação a algum critério de seleção predeterminado. Os agrupamentos resultantes devem, então, exibir elevada homogeneidade dentro dos mesmos e elevada heterogeneidade entre eles. Assim, se a classificação for bem sucedida, os objetos dentro dos agrupamentos estarão próximos quando representados graficamente e diferentes agrupamentos estarão distantes. Esta análise busca representar relações ou similaridades e diferenças não reveladas anteriormente (HAIR JUNIOR et al., 2005).

A validação cruzada, de acordo com Andriotti (2003), é o procedimento mediante o qual cada amostra é retirada do conjunto de dados e é feita uma interpolação para avaliar o seu valor, cujas finalidades foram o preenchimento de falhas e a verificação da boa consistência dos dados. A validação cruzada é um método que assume que, em um determinado ponto, em que não tenham sido coletados os dados, o valor é estimado a partir dos dados circundantes. Após essa estimativa, o valor poderá ser re-introduzido no sistema. A validação cruzada é, portanto, uma forma de se verificar as suposições sobre o modelo usado para a interpolação, além de ser uma maneira de preencher vazios no rol de dados com certa

eficiência. Por meio de estimação, o método procura um valor que represente o mais fielmente possível do valor verdadeiro de uma variável em um ponto, sendo a *Krigagem* e o Inverso da Distância ao Quadrado, exemplos destes estimadores, utilizados nesse estudo.

A técnica *Jackknife* é usada em inferência estatística para estimar o desvio e o erro padrão, quando um exemplo aleatório de observações é usado para calculá-lo. Basicamente, encontra-se, por trás da estimação *Jackknife*, um reprocessamento sistemático da estimativa omitindo uma observação do exemplo de cada vez (RESAMPLING, 2007).

Outro método utilizado foi o método da Ressubstituição, um método de se estimar a probabilidade de classificação errada em que a regra de classificação construída é utilizada para classificar elementos da amostra conjunta de duas populações. Nele, os mesmos elementos amostrais participam da estimação da regra de classificação e estimação de erros (JOHNSON; WICHERN, 1992).

3 METODOLOGIA

3.1 INFORMAÇÕES SOBRE O SISTEMA DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE GOIÂNIA

O sistema de esgotos sanitários de Goiânia conta com mais de 2.500 km de rede coletora, que descarrega os esgotos em interceptores implantados às margens dos principais cursos d'água da cidade. São dotados de interceptores os córregos Macambira, Vaca Brava, Cascavel, Capim Puba, Botafogo, Palmito, Água Branca, Barreiro e o Ribeirão João Leite, com diâmetros variando de 200 a 1.200 mm (SANT'ANNA, 2005).

Existem quatro estações de tratamento de esgotos em operação em Goiânia. As ETEs Aruanã e Parque Atheneu, que recebem contribuição de cerca de 75.000 habitantes e estão localizadas na região leste. A ETE Samambaia é localizada no Campus Samambaia da Universidade Federal de Goiás, atendendo apenas essa instituição.

A ETE – Goiânia é alimentada pelo interceptor Anicuns, que recebe contribuição dos interceptores Macambira, Cascavel, Vaca Brava, Capim Puba, Botafogo. O interceptor Anicuns, após receber essas contribuições, chega à elevatória final da estação com um diâmetro de 2.000 mm (SANT'ANNA, 2005).

Na Tabela 10 estão apresentadas as etapas da ETE – Goiânia e suas respectivas populações atendidas, conforme projeto.

Tabela 10 - Etapas e atendimento da estação de tratamento de esgoto de Goiânia.

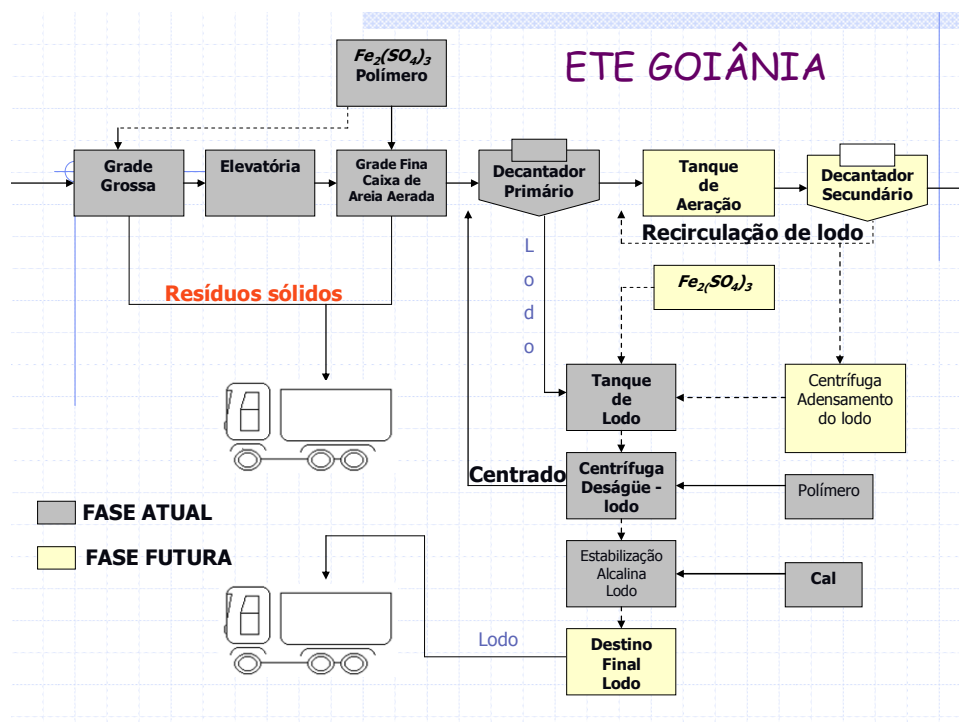
| Etapa | Inicial | Final |
|---------------------------------|----------|-----------|
| Ano de atendimento | Até 2010 | Até 2025 |
| População (hab) | 841.773 | 1.192.033 |
| Vazão média (m ³ /s) | 2,3 | 3,2 |

Fonte: SANEAGO (2005a).

As bacias de contribuição da ETE – Goiânia são o Ribeirão Anicuns e seus afluentes já mencionados, os Córregos Caveirinha e Fundo e o Ribeirão João Leite (SANT'ANNA, 2005).

3.1.1 Processo de tratamento da ETE - Goiânia

O processo de tratamento adotado para a ETE – Goiânia é o Tratamento Primário Quimicamente Assistido, seguido de Lodo Ativado. Atualmente está implantada apenas a fase primária, conforme informações do diagrama de processo (Figura 10). A diferença está na adição de sulfato férrico e polieletrólito na fase primária, auxiliando na sedimentação das partículas (SANEAGO, 2005b).



Fonte: SANEAGO (2005b)

Figura 10 – Diagrama de processo de tratamento proposto para a ETE – Goiânia.

O esgoto bruto conduzido pelo interceptor Anicuns à ETE – Goiânia passa inicialmente por uma grade grosseira de limpeza manual com 7,5 cm de espaçamento. Esta unidade tem a função de reter sólidos de grandes dimensões (SANEAGO, 2005a).

Após o gradeamento grosso, o esgoto é recalado a uma altura manométrica de 25 metros e é encaminhado para o gradeamento fino. A elevatória de esgoto bruto é uma estrutura semi-enterrada que abrigará quatro conjuntos motor-bombas de eixo vertical prolongado, cada um com 750 cv de potência, sendo dois conjuntos implantados e dois a implantar (SANEAGO, 2005a).

Depois do recalque, o esgoto passa por um gradeamento fino, com espaçamento de 1,3 cm, de limpeza mecanizada e o material sólido retido é transportado em esteira para ser acumulado em um contêiner (SANEAGO, 2005a).

Em seguida, o esgoto segue para o processo de desarenação. As caixas de areia são do tipo aeradas, onde o ar é insuflado com o objetivo de gerar um movimento turbilhonar na massa líquida, ocorrendo a separação da areia e do líquido. A areia se deposita no fundo, enquanto o líquido contendo matéria orgânica segue para o tratamento primário. A ETE – Goiânia possui três caixas desarenadoras, sendo duas em operação, para funcionamento em paralelo, cujas vazões de projeto correspondendo a 1.710 L/s por unidade (SANEAGO, 2005a).

Com a adição de coagulante e polímero, obtém-se uma remoção de DBO na faixa de 50% e de SST em torno de 70% somente nessa fase (SANEAGO, 2005a). Após o tratamento preliminar, os esgotos são encaminhados aos decantadores primários, que são de formato circular, com 42 metros de diâmetro cada. Nessas unidades, ocorre a separação da matéria sólida por sedimentação e a remoção de material graxo (escuma) por flotação.

Com as unidades implantadas até o momento na ETE Goiânia, não é possível o atendimento à Resolução n° 357 (CONAMA, 2005), mas o órgão ambiental do estado de Goiás concedeu o licenciamento ambiental, sob condições excepcionais, conforme a mesma legislação.

A matéria sólida sedimentada no fundo dos decantadores primários vem a se constituir do denominado “lodo primário”, que é bombeado para o edifício de tratamento de lodo, onde passa por processos de desaguamento e estabilização (SANEAGO, 2005a).

Após a decantação primária, o esgoto será submetido ao tratamento secundário, cujas estruturas ainda não foram construídas. Nessa fase do tratamento, o efluente primário verterá para a calha coletora de cada decantador e será conduzido aos tanques de aeração. Nesses tanques, ocorrerá a mistura do esgoto e do lodo ativado proveniente dos decantadores secundários na presença de ar, favorecendo a remoção de matéria orgânica. O efluente dos tanques de aeração, rico em biomassa, será encaminhado para os decantadores secundários (SANEAGO, 2005a).

Nos decantadores secundários, a clarificação do efluente será obtida através da sedimentação da biomassa, constituindo o lodo secundário, o qual será recirculado para os tanques de aeração, garantindo a elevada eficiência do processo. O lodo secundário excedente

será recalcado para os processos de adensamento, desaguamento e estabilização química (SANEAGO, 2005a).

O lodo primário químico gerado na ETE - Goiânia vem sendo disposto em área degradada desde outubro de 2005, com Plano de Controle Ambiental (PCA) aprovado pela Agência Goiana de Meio Ambiente. Como o PCA foi feito antes da publicação da resolução CONAMA n° 375 (2005), que define critérios para uso agrícola do lodo de esgoto, foram utilizadas as Normas 10.004, 10.005 e 10.006 (ABNT, 2004a, 2004b e 2004c), para classificação e monitoramento do lodo.

3.1.2 Características e operação do tratamento preliminar da ETE – Goiânia

3.1.2.1 Sistema de gradeamento grosso e fino

A remoção de sólidos grosseiros do afluente à ETE – Goiânia foi feita mediante o emprego de duas grades de barras com espaçamento grosso, seguidas de três grades mecanizadas de barras com espaçamento fino, sendo que na etapa inicial de operação, foram implantadas duas grades. A operação das unidades de gradeamento grosso e fino deve ser de acordo com a vazão efetivamente afluente, em cada etapa. Seguem as características das unidades de gradeamento fino, conforme Manual de Procedimentos Básicos de Operação, conforme, SANEAGO (2005b):

Número de grades instaladas na etapa inicial: 2

Número de grades instaladas na etapa final: 3

Espaçamento entre as barras: 13 mm

Estimativa de material gradeado (etapa inicial): 4 m³/d

Estimativa de material gradeado (etapa final): 6 m³/d

a) Descrição do funcionamento do gradeamento

Segundo Manual de Procedimentos Básicos de Operação, SANEAGO (2005b), as grades finas mecanizadas se localizam em canais paralelos dotados de comportas a montante e

a jusante da grade, de tal forma que é possível alimentar ou interromper o fluxo em quaisquer das unidades.

No interior do canal, a grade de barras se antepõe ao fluxo de esgotos, deixando-se atravessar pelo líquido e pelos sólidos de diâmetro aparente inferior à abertura da grade. Os sólidos de maiores dimensões são retidos pelas barras (SANEAGO, 2005b).

Estes sólidos, denominados “sólidos grosseiros”, são removidos da grade por meio de um rastelo acionado por mecanismos tipo vai-e-vem que se deslocam ao longo de uma cremalheira. O rastelo desce até o fundo do canal em posição afastada da grade. Ao tocar o fundo, um dispositivo mecânico obriga o rastelo a se aproximar da grade, de forma que seus dentes penetrem entre as aberturas das barras. O rastelo então se movimenta para cima, raspando o material retido na grade. Ao atingir a posição mais elevada, um dispositivo de limpeza raspa o material pelo rastelo, fazendo-o cair em uma rampa e em uma esteira transportadora (SANEAGO, 2005b).

O material gradeado descarregado na esteira transportadora é então conduzido para acumulação em contêiner estacionário, de onde é levado para a disposição final.

O esgoto que atravessa as grades finas é encaminhado para as caixas de areia, ainda na fase preliminar do tratamento (SANEAGO, 2005b).

b) Procedimentos básicos de operação

O acionamento do rastelo pode ser feito da seguinte forma, segundo Manual de Procedimentos Básicos de Operação (SANEAGO, 2005b):

- ♣ Manualmente, o operador, quando julgar oportuno, por sua observação de acúmulo de material gradeado sobre as barras;
- ♣ Através de dispositivo temporizador: nesse caso, o operador após observação da quantidade de sólidos grosseiros retida nas grades, estabelece a frequência da limpeza e o tempo de funcionamento do rastelo. A frequência deverá ser fixada em condições normais; em princípio este valor poderá estar entre 15 e 30 minutos. Após a fixação da frequência da passagem do rastelo, o operador deverá verificar se não ocorre acumulação excessiva de sólidos junto às barras, e assim elevar a perda de carga na grade, a frequência de limpeza deverá ser fixada às melhores condições de necessidade

de limpeza. Em relação ao tempo de funcionamento do rastelo, poderá ser ajustado, em princípio, para corresponder a duas passagens do rastelo pelas barras;

- ♣ O operador poderá por meio de um dispositivo de acionamento automático, utilizando a perda de carga que ocorre na passagem pela grade, acionar a grade. Deverá ser fixada a perda de carga a partir da qual a grade poderá automaticamente ser acionada.

O número de grade em funcionamento deverá ser em função da vazão média afluente à ETE, podendo, portanto, o fluxo de esgotos ser encaminhado a mais de uma unidade, de acordo com a vazão, de forma a garantir as melhores condições hidráulicas de escoamento, previstas no projeto (SANEAGO, 2005b).

No caso da operação alternada das grades, o operador deverá, quinzenalmente ou mensalmente, alterar o encaminhamento da vazão às grades instaladas, fazendo um revezamento no seu funcionamento. Deverá ser verificado se, no canal que estiver fora de operação, não permanece esgoto estagnado ou sólido acumulado no fundo, podendo ocasionar maus odores (SANEAGO, 2005b).

Toda a área onde se situam as grades deve ser cuidadosamente limpa e desinfetada. Todo material gradeado removido deverá ser anotado, de forma a organizar a retirada dos contêineres, evitando permanência desnecessária e probabilidade de maus odores (SANEAGO, 2005b).

c) Perturbações usuais

Os problemas mais usuais na operação das grades, segundo Manual de Procedimentos Básicos de Operação (SANEAGO, 2005b), são:

- ♣ **acúmulo excessivo de material sólido e matéria graxa nas grades:** o acúmulo excessivo poderá dificultar a movimentação do mecanismo de limpeza da grade. Neste caso, deve-se paralisar a operação deste canal, esvaziar, retirar o material de obstrução, limpar as barras da grade, verificar fontes do excesso de material, e tomar medidas visando à eliminação desse material na fonte.
- ♣ **o mecanismo de limpeza não se movimenta, o motor arma normalmente:** as duas possibilidades iniciais são: o rastelo está imobilizado por acúmulo de material, ou está desalinhado e preso entre as barras; ou o rastelo não se

movimenta por ter ocorrido uma quebra de seu mecanismo de suporte. Neste caso deverá ser isolado o canal e verificada a causa do problema para correção.

- ♣ **o sistema não arma automaticamente, apenas manualmente:** neste caso certamente a falha está no mecanismo de automação.

3.1.2.2 Sistema de desarenação

Foram projetadas três caixas de areia aeradas, duas na primeira etapa, onde o ar (bolhas grossas) é fornecido através de sopradores de deslocamento positivo. A areia depositada no fundo dos tanques será encaminhada por meio de um parafuso transportador para uma caixa no extremo de cada tanque, de onde é bombeada para um sistema de lavagem de areia. O sistema de lavagem de areia consiste em um parafuso, através do qual a areia é elevada e despejada em esteiras transportadoras, de onde é encaminhada ao contêiner para ser transportada para a disposição final, conforme Manual de Procedimentos Básicos de Operação (SANEAGO, 2005b).

As duas caixas de areia foram dimensionadas para atender, na primeira etapa, a vazão média de 2,29 m³/s, e máxima de 3,72 m³/s, e apresentam as seguintes características (SANEAGO, 2005b):

- ♣ Comprimento: 15,0 m
- ♣ Largura: 6,0 m
- ♣ Profundidade: 4,01 m
- ♣ Tempo de detenção (na vazão máxima): 3,2 min.
- ♣ Remoção esperada: 7,9 m³ de areia/dia
- ♣ Fornecimento de ar: 0,5 m³/min e por metro de comprimento do desarenador

a) Descrição do funcionamento do sistema de desarenação

As caixas de areia recebem o afluyente bruto pós gradeamento através de um canal único transversal, o qual é alimentado pelos canais efluentes das grades. Este canal é dotado de comportas que permitem direcionar o fluxo de cada grade, operando para uma correspondente caixa de areia. O sistema de distribuição de vazões é flexível, permitindo ao

operador escolher quais as unidades de gradeamento e caixa de areia que se deseja operar (SANEAGO, 2005b).

Ao escoar o esgoto ao longo da caixa de areia, ocorre uma diminuição da velocidade de escoamento longitudinal, propiciando a sedimentação das partículas sólidas. No entanto, o movimento em espiral gerado pelo escoamento longitudinal e pela velocidade ascensional das bolhas de ar mantém em suspensão as partículas mais leves, normalmente com características orgânicas, e remete o líquido à extremidade oposta da parede onde se situam os difusores de ar, permitindo que as partículas mais pesadas sedimentem no fundo da caixa. Desta forma, ocorre a sedimentação da areia, mas não a ponto de permitir a retenção de sólidos de origem orgânica, que poderão causar transtornos operacionais (SANEAGO, 2005b).

A areia sedimentada no fundo é continuamente transportada por um parafuso transportador para um rebaixo localizado na extremidade de montante da caixa de areia. Desse rebaixo, a areia é recalçada, através de bombas tipo vórtice, para um sistema de lavagem, composto de um parafuso de lavagem que eleva a areia, depositando-a, em seguida, em esteiras transportadoras que conduzem o material até o contêiner para ser transportado para o destino final (SANEAGO, 2005b).

O esgoto efluente das caixas de areia verte para um canal situado ao longo da face externa da parede de jusante de cada unidade, passa por um medidor de vazão tipo calha *parshall* e, em seguida, para uma caixa de distribuição de vazão, que alimenta os decantadores, conforme informações do Manual de Procedimentos Básicos de Operação (SANEAGO, 2005b).

b) Procedimentos básicos de operação

As condições de escoamento no interior da caixa de areia são reguladas pela posição do vertedor situado na parede de jusante, que determina a profundidade útil efetiva, que deve ser ajustado conforme as condições de projeto. O vertedor de saída deve ser mantido nivelado, permitindo uma distribuição homogênea ao longo de sua extensão (SANEAGO, 2005b).

Deve ser verificado se há presença de material flutuante, que pode ocorrer pela fermentação de matéria orgânica sedimentada no fundo da caixa de areia, e indica que a velocidade de escoamento é demasiadamente baixa e o sistema de distribuição de ar pode não

estar funcionando adequadamente. Deve-se, portanto, efetuar as correções necessárias quanto à distribuição de vazão, distribuição de ar e números de caixas em operação (SANEAGO, 2005b).

Devem ser verificadas todas as unidades da caixa de areia, como: comportas, vertedores de saída, mecanismos de acionamento dos sistemas de transporte, recalque e lavagem da areia e do sistema de alimentação de ar. Estas devem também ser lavadas com jato de água (SANEAGO, 2005b).

Cada caixa de areia possui um medidor de vazão de ar, permitindo controlar a quantidade de ar fornecida através de uma linha de alívio, conectada ao barrilete geral de descarga dos sopradores. Deve-se buscar uma vazão de alimentação em torno da vazão de projeto e verificar a remoção de areia, bem como os demais parâmetros de projeto, conforme estabelecido pelo Manual de Procedimentos Básicos de Operação (SANEAGO, 2005b).

c) Perturbações usuais

Segundo Manual de Procedimentos Básicos de Operação (SANEAGO, 2005b), as perturbações mais usuais que poderiam ocorrer no sistema de desarenação seriam:

- ♣ **excesso de areia:** havendo uma remoção de areia excessiva em relação ao normalmente encontrado em outras ETEs da Saneago, deve-se verificar a ocorrência de águas pluviais na rede coletora de esgoto e corrigir as ligações;
- ♣ **baixa remoção de areia:** deve-se verificar se as vazões aplicadas em cada caixa de areia estão compatíveis com a vazão de projeto, bem como a vazão de alimentação de ar. As unidades podem estar trabalhando sobrecarregadas, ou com excessiva vazão de ar.
- ♣ **mau cheiro localizado:** o mau cheiro é ocasionado por falta de limpeza ou de acumulação de matéria orgânica nos canais de acesso e na caixa de areia. Pode ocorrer por velocidades baixas nos canais ou nas unidades, má distribuição de ar, devendo ser verificados os parâmetros operacionais e comparados com as indicações do projeto, efetuando-se as devidas correções.

Deve ser verificada também a distribuição de vazão nas caixas de areia e, em seguida, executar os ajustes necessários nas aberturas das comportas de entrada e dos vertedores de saída das unidades.

3.1.3 Processo de tratamento da fase sólida

Atualmente o lodo primário é bombeado para um tanque de armazenamento, de onde é recalcado para o desaguamento em centrífugas. Antes de chegar às centrífugas, o lodo é acondicionado quimicamente por meio da adição de um de polímero para favorecer a separação entre o sólido e o líquido (SANEAGO, 2005a).

O lodo secundário, que será gerado após a implantação do tratamento secundário, terá um teor de sólidos menos elevado e será adensado em centrífugas, também com a utilização de polímeros, antes de ser conduzido ao tanque de armazenamento, onde será misturado ao lodo primário para posterior desaguamento em centrífugas (SANEAGO, 2005a).

O lodo desaguado com um teor de sólidos na faixa de 32%, denominado “torta”, é transportado em esteira para um misturador, onde recebe em torno de 20% de óxido de cálcio em relação a massa seca, visando a elevação do pH para 12, e a conseqüente inativação de microrganismos patogênicos. Após a estabilização química, a torta é acondicionada em caminhões tipo caçamba e, em seguida, transportada para área degradada pela exploração de cascalho, localizada na Fazenda Quati, no município de Abadia de Goiás (GO).

3.2 AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO PRELIMINAR DA ETE - GOIÂNIA

Todas as análises para a avaliação do tratamento preliminar da ETE – Goiânia foram processadas no Laboratório de Esgoto da SANEAGO, segundo as determinações estabelecidas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2005).

3.2.1 Concepção adotada no projeto executivo

A avaliação da concepção do tratamento preliminar adotada no projeto da ETE – Goiânia foi realizada por meio de consulta a literatura especializada e as normas da ABNT.

3.2.2 Dimensionamento apresentado no projeto executivo

A avaliação do dimensionamento do tratamento preliminar da ETE - Goiânia foi feito através da verificação dos cálculos de projeto, utilizando as normas NBR 12.208

(1992a), NBR 12.209 (1992b), EB 2.185 (1991) e NBR 13.160 (1994); e as informações do livro Metcalf e Eddy (1991).

3.2.3 Aspectos construtivos

Foi verificada se cada unidade do tratamento preliminar foi construída conforme o projeto executivo da ETE – Goiânia. Sempre que necessário, eram feitos questionamentos aos engenheiros da operação e fiscalização da obra da SANEAGO, e também aos engenheiros da Central Engenharia Ltda., empresa líder do consórcio que foi responsável pela execução da obra.

3.2.4 Manual de operação pertencente ao projeto executivo

O manual de operação da ETE de Goiânia foi avaliado, através da aplicação de suas orientações, e comparado com as operações realizadas nas unidades do tratamento preliminar. Foi verificado se as orientações preconizadas no manual foram compatíveis com a realização prática das atividades.

3.2.5 Desempenho do tratamento preliminar

3.2.5.1 Desempenho do sistema de gradeamento

O sistema de gradeamento foi avaliado através da verificação das unidades subseqüentes a cada grade, se essas apresentavam problemas em decorrência da passagem de detritos. Foram levantados os volumes de detritos gerados no sistema de gradeamento da ETE – Goiânia e comparados com os resultados esperados no projeto executivo, em L/1.000 m³ de esgoto tratado e dados das ETES Brasília Sul e Norte, Samambaia e Recanto das Emas, da Companhia de Saneamento Ambiental (CAESB) do Distrito Federal. Foram utilizadas, também, as a literatura especializada, Metcalf e Eddy (1991), WEF (1992) e Jordão e Pessôa (2005). Todas as informações referentes aos volumes dos detritos foram coletadas dos relatórios diários da operação da ETE – Goiânia (SANEAGO, 2005c; 2006). A medição dos

volumes de detritos gerados foi feita sempre que o contêiner estava cheio. Inicialmente, nivelavam-se os detritos dentro do contêiner com a utilização de um rodo, em seguida, verificava-se o volume através de marcações na lateral da parte externa do contêiner de 5 m³ de capacidade.

Como a ETE - Goiânia apresentava necessidade de melhoria no gradeamento fino (1,3 mm), em virtude da grande quantidade de detritos presentes na espuma dos decantadores primários, foi planejado um ensaio utilizando peneiras de malhas que existem no mercado, objetivando fornecer subsídios para a definição da malha da peneira a ser adquirida.

3.2.5.1.1 Ensaio de peneiramento da espuma formada nos decantadores primários

A partir das peneiras com malhas de 1; 3 e 6 mm, tamanho comercial, buscou-se, com esse experimento, uma verificação da massa que seria retida em cada peneira. A peneira de 1 mm foi considerada a que removeu 100% dos detritos presentes na espuma, e a eficiência das peneiras de 3 mm e 6 mm foi feita em relação à peneira de 1 mm. Segundo Jordão e Pessoa (2005), a peneira de 1 mm reduz 93,2% de material flutuante, portanto, foi a escolhida como referência de 100% de remoção.

Foram determinados, também, os teores de sólidos totais (ST), sólidos totais fixos (STF) e sólidos totais voláteis (STV) para um maior conhecimento das características da espuma. Os ensaios foram realizados no período de três dias do mês de setembro de 2006.

As amostras de espuma foram colhidas em um recipiente com capacidade para 12 L na caixa de recebimento de espuma. Foram coletados 10 L de espuma às 8, 10, 12 e 14 horas, totalizando 40 L. Após o término das coletas, homogeneizou-se o conteúdo e retirou-se uma amostra para fazer análise de ST, STF e STV. Foram peneiradas 10 amostras de 1 kg (peso médio) nas peneiras de malhas de 1; 3 e 6 mm. Após o peneiramento, pesou-se o que ficou retido.

Posteriormente, juntou-se todo material retido por peneira, formando três amostras, sendo cada uma representante de uma das malhas de peneiras avaliadas. Foi retirada uma alíquota de cada amostra e efetuada a análise de ST, STV e STF.

O esperado pela operação da ETE Goiânia é uma redução de detritos presentes na espuma dos decantadores, para que estes possam ser encaminhados diretamente para o tratamento de lodo, sem a necessidade de sua retirada manual nessa unidade.

3.2.5.2 Avaliação do desempenho do sistema de desarenação

Inicialmente, foram verificadas as unidades subsequentes à caixa de areia apresentavam problemas em decorrência da passagem de areia. Em seguida, foram avaliadas quanto ao volume de areia gerado (SANEAGO, 2005c; 2006). A quantidade de areia gerada, em L/1.000 m³ de esgoto tratado, foi comparada com o volume esperado no projeto executivo. Todas as informações referentes aos volumes de areia retidos foram coletadas dos relatórios diários da operação da ETE, e as medições de volumes foram feitas com a mesma metodologia do material gradeado. Os resultados obtidos também foram comparados com dados de outras ETEs e da literatura.

Foram realizadas análises de ST, STF e STV da areia removida na caixa de areia no período de julho a dezembro de 2005 e de todo o ano de 2006. As amostras de areia foram coletadas dentro do contêiner, utilizando a técnica dos quadrantes, segundo a Norma NBR 10.007 da ABNT, (2004d).

Para avaliar o teor de areia no lodo primário, foram coletadas amostras nos meses de outubro a dezembro na elevatória de lodo primário para análise de STF e STV.

3.3 PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS PARA O PROCESSO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO DA ETE - GOIÂNIA

Como já mencionado na revisão bibliográfica, a aplicação de sulfato férrico no esgoto bruto da ETE de Goiânia, apresentou desempenho similar ao cloreto férrico com menor custo. Portanto, neste trabalho utilizou-se somente o sulfato férrico, nas proposições de medidas para o processo de coagulação do esgoto bruto.

As análises foram processadas no Laboratório de Esgoto da SANEAGO, segundo as determinações estabelecidas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2005).

A coagulação e a floculação do esgoto na fase primária foram avaliadas quanto às melhores dosagens de coagulante e auxiliar de coagulação, visando principalmente a eficiência na remoção de DBO e SST.

3.3.1 Caracterização do esgoto bruto da ETE - Goiânia

3.3.1.1 Determinação da variação horária da concentração de DBO e SST do esgoto bruto

A aplicação de coagulante e auxiliar de floculação no esgoto bruto devem ser proporcionais à quantidade de SST e DBO, sendo que a ETE – Goiânia tem como meta a remoção de 50% de DBO e 80% de SST. Como a quantidade de SST e DBO do esgoto afluente de uma ETE varia durante as 24 horas do dia, torna-se necessária a avaliação destes parâmetros buscando as dosagens de produtos químicos adequada..

As coletas do esgoto bruto para realização das análises foram realizadas de hora em hora, de forma simples e coletadas manualmente. As coletas iniciaram às 08:00 horas e terminaram às 07:00 horas do dia seguinte, totalizando 24 amostras. Foram três as épocas de coletas, uma em agosto, outra em setembro e outra em novembro de 2006, sendo que os dias da semana foram quarta-feira, quinta-feira e segunda-feira, respectivamente. Nos resultados do monitoramento da ETE – Goiânia foi observado que apenas o domingo apresentava características do esgoto bruto diferenciadas dos outros dias da semana. Todos os resultados de SST e DBO horárias dos três dias de monitoramento foram classificados pela análise de agrupamento de *Cluster*.

3.3.1.2 Avaliação mensal dos resultados de DBO, SST, DQO e turbidez do esgoto bruto

Foram determinados dados de DBO, SST, DQO e Turbidez do afluente da estação do ano de 2006, objetivando conhecer melhor o comportamento destas variáveis ao longo de um ano, bem como a correlação entre as mesmas. Foram avaliados de três a sete em cada mês. As coletas do esgoto bruto, para a realização das análises, foram feitas de duas em duas horas, de forma manual, e com amostras compostas. O volume de todas as alíquotas foi proporcional às vazões médias dos horários das coletas, conforme informado na Tabela 11. As coletas tiveram início às 06:30 horas e foram finalizadas às 18:30 horas de cada dia, totalizando sete amostras, com volume total de 2.000 mL. Foram utilizados os seguintes métodos estatísticos: validação cruzada, *Jackknife* e Ressubstituição.

Tabela 11 – Alíquotas do afluente da ETE – Goiânia proporcionais à vazão média dos horários de coleta.

| Horários e volumes de coleta do afluente da ETE Goiânia | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Horário da coleta (h:min) | 06:30 | 08:30 | 10:30 | 12:30 | 14:30 | 16:30 | 18:30 |
| Volume da coleta (mL) | 120 | 160 | 240 | 370 | 370 | 400 | 340 |

Foi anotada, também, a faixa de pH e da alcalinidade do esgoto bruto no ano de 2006, para conhecer esses parâmetros químicos que são importantes para o processo de coagulação e floculação.

3.3.2 Definição dos pontos ótimos de aplicação de produtos químicos no esgoto bruto

A avaliação dos melhores pontos de aplicação de produtos químicos na ETE - Goiânia, foi realizada conforme recomendação do projeto executivo, que definiu quatro opções de pontos de aplicação do coagulante, e a experiência de outras ETES e também às condições de gradiente de velocidade e TDH da ETE – Goiânia. Foram selecionadas duas opções para aplicação de produtos químicos:

- ♣ opção 1- Aplicação de sulfato férrico no início da caixa de areia e polieletrólito aniônico a 5,9 m, a montante da calha *parshall* (Figura 11);
- ♣ opção 2 - Aplicação de sulfato férrico imediatamente a montante do ressalto hidráulico da calha *parshall* e polieletrólito a 5 m a jusante da mesma, (Figura 11).

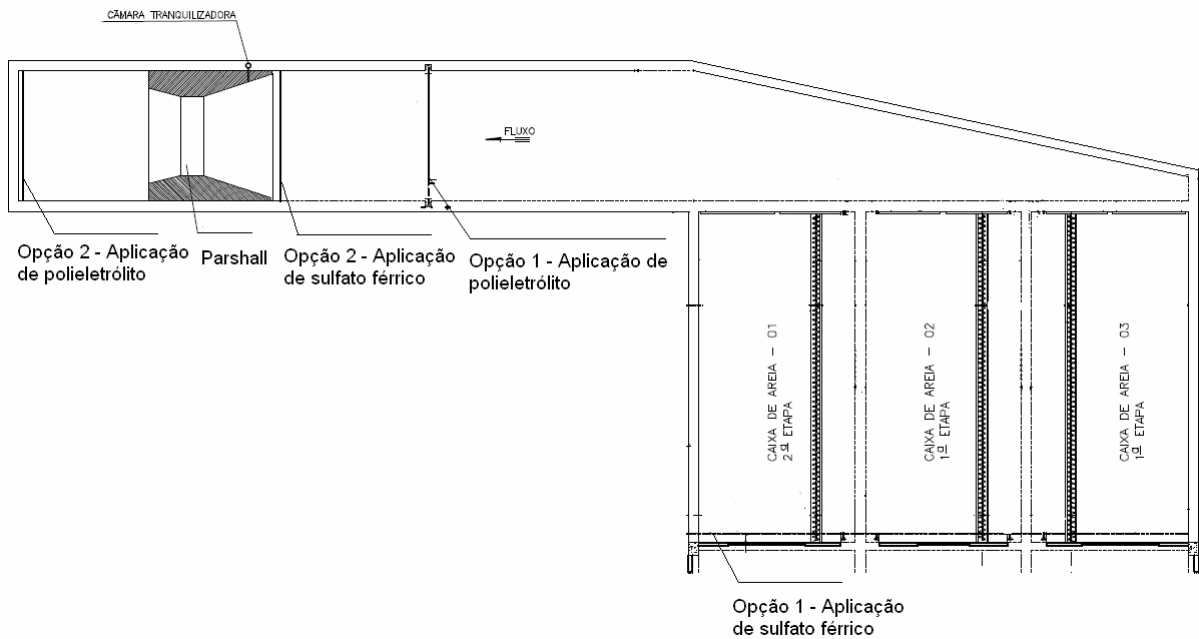


Figura 11 – Opções 1 e 2 de aplicação de produtos químicos na ETE – Goiânia.

3.3.3 Determinação do tempo de detenção hidráulica e gradiente de velocidade das unidades da ETE - Goiânia relacionadas com o processo de coagulação e floculação

Foi calculado o percentil 80 das vazões dos meses de janeiro, março, maio, julho e setembro de 2006, meses do período chuvoso e seco, representando, portanto, a vazão média da ETE – Goiânia. A vazão média encontrada com essa ferramenta foi aplicada na estação. Em seguida, foram medidas as alturas dos canais a montante e a jusante da caixa de areia, e da caixa de distribuição de vazão para os decantadores, os quais foram utilizados para calcular o TDH.

O TDH da caixa de areia e de distribuição de vazão foi determinado pela Equação 1, enquanto que, para o cálculo do TDH dos canais e tubulações foram aplicadas as Equações 2 e 3. Para cada simulação de aplicação de produtos químicos foram calculados os tempos reais da estação com a vazão encontrada na ferramenta percentil 80.

$$\text{TDH} = V / Q \quad (1)$$

Em que:

$V = \text{volume (m}^3\text{)}$;

$Q = \text{vazão encontrada no cálculo do percentil 80 (m}^3\text{/s)}$.

$$Q = v \times A \quad (2)$$

Em que:

$Q = \text{vazão encontrada no percentil 80 (m}^3\text{/min)}$;

$v = \text{velocidade média (m/s)}$;

$A = \text{área da seção transversal (m}^2\text{)}$.

$$v = \Delta S / \Delta T \quad (3)$$

Em que:

$\Delta S = \text{comprimento do trecho (m)}$;

$\Delta T = \text{tempo gasto para percorrer o trecho (s)}$.

3.3.4 Estimativa em *jar test* do tempo de coagulação e gradientes de velocidade da ETE - Goiânia

A metodologia utilizada teve como referência o protocolo de *jar test*, segundo Jordão e Pessôa (2005) e a otimização dos parâmetros da mistura rápida conforme Di Bernardo e Dantas (2005). Os ensaios de coagulação e floculação foram realizados em *jar test* da marca Nova Ética, modelo DB.

3.3.4.1 Aplicação de coagulante no início da caixa de areia e polieletrólito a 5,9 m, a montante da calha parshall (opção 1)

Para a caixa de areia, foi utilizado o gradiente de 150 s^{-1} , conforme o protocolo de *jar test* de Jordão e Pessôa (2005), como parâmetro inicial para determinação dos gradientes em *jar test* que representassem a estação.

Para o processo de floculação, foi adotado o gradiente de 20 s^{-1} , segundo o protocolo de *jar test* de Jordão e Pessôa (2005).

Pode-se verificar na Tabela 12, o tempo real da estação, que foi utilizado para calcular o tempo de referência para os ensaios de *jar test* para a opção 1. Segundo Di

Bernardo e Dantas (2005), por não possuir curto circuito dentro dos jarros, os TDHs de *jar test*, para representar a estação, são de 70 a 100% do tempo real.

Tabela 12 – Tempos reais de processo da ETE – Goiânia para a opção 1 de aplicação de produtos químicos.

| Operação/processo | Tempo real |
|--|--------------|
| Tempo de coagulação (1 caixa de areia) | 6 min 20 s |
| Tempo de coagulação (2caixas de areia) | 11 min |
| Tempo de floculação | 6 min 43 s |
| Tempo de sedimentação | 2 h e 30 min |

Portanto, o ensaio em *jar test*, para o esgoto coagulado na estação, foi realizado da seguinte forma:

- ♣ coletou-se esgoto coagulado para dois jarros, após a calha *parshall*, no final do canal, com a vazão da estação encontrada no percentil 80%. Floculou-se em *jar test*, com o tempo de 4 min e 30 s (em torno de 70% do tempo real) e gradiente de velocidade 20 s^{-1} ;
- ♣ após o término da floculação, iniciou a decantação e foram coletadas amostras com quatro, seis e 15 minutos para a leitura de turbidez.

Para o esgoto coagulado em *jar test*, o ensaio foi realizado da seguinte forma:

- ♣ o esgoto foi coletado antes das grades finas no mesmo horário do teste anterior;
- ♣ os tempos de mistura rápida variaram em sete minutos; sete minutos e 30 segundos; oito minutos; e oito minutos e 30 segundos;
- ♣ os gradientes de velocidade foram de 125 s^{-1} e 320 s^{-1} ;
- ♣ após término da floculação, foram retiradas amostras nos tempos de quatro, seis e 15 minutos para leitura de turbidez.

Os resultados do esgoto coagulado na estação foram comparados com o coagulado em *jar test*. O resultado mais próximo ao coagulado na ETE foi o tempo de *jar test* que foi escolhido para representar o processo de coagulação da estação.

Repetiram-se os dois ensaios (esgoto coagulado na estação e esgoto coagulado em *jar test*) com os tempos de coagulação mais próximos e realizaram-se as análises de turbidez, SST, DBO e DQO do afluente e dos efluentes dos jarros nos tempos de quatro e 30 minutos.

3.3.4.2 Aplicação de coagulante a montante do ressalto hidráulico da calha *parshall* e polieletrólito a 5 m a jusante da calha *parshall* (opção 2)

O gradiente de velocidade para a calha *parshall* adotado, foi de 1.000 s^{-1} . Segundo Fernandes (2007), uma calha *parshall* eficiente pode fornecer gradiente de velocidade maior que 1.000 s^{-1} , com tempos de detenção menores de que um segundo. Para o processo de floculação foi adotado o gradiente de 20 s^{-1} , segundo protocolo de *jar test* de Jordão e Pessoa (2005).

Na Tabela 13, encontra-se o tempo real da estação, que foi utilizado para calcular o tempo de referência para os ensaios de *jar test*, para a opção 2. Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), por não possuir curto circuito dentro dos jarros, os TDH de *jar test* para representar a estação, são de 70 a 100% do tempo real.

Tabela 13 – Tempos reais de processo da ETE – Goiânia para a opção 2 de aplicação de produtos químicos.

| Operação/processo | Tempo real |
|-----------------------|--------------|
| Tempo de coagulação | 56 min 4 s |
| Tempo de floculação | 5 min e 30 s |
| Tempo de sedimentação | 30 min |

Para o esgoto coagulado na estação foi realizado o ensaio de *jar test* da seguinte forma:

- ♣ o esgoto coagulada foi coletada para dois jarros, na caixa de distribuição de vazão, com vazão da estação de 1.500 L/s;
- ♣ no *jar test*, foi floculada, com o tempo de três minutos e 30 segundos (em torno de 70% do tempo real) e gradiente de velocidade 20 s^{-1} ;
- ♣ após o término da floculação, deixou-se decantar e foram coletadas amostras nos tempos de quatro, seis e 15 minutos para a leitura de turbidez.

Para o esgoto coagulado em *jar test*, foram utilizados os seguintes procedimentos:

- ♣ o esgoto foi coletado antes das grades finas no mesmo horário do teste anterior e foi avaliado em *jar tests* conforme abaixo:
- ♣ os tempos de mistura rápida variaram de 20, 45 e 60 segundos;
- ♣ os gradientes de velocidade variaram de 1.200 s^{-1} , 1.000 s^{-1} , 800 s^{-1} e 600 s^{-1} ;
- ♣ após o término da floculação, deixou-se decantar e foram coletadas amostras nos tempos de quatro, seis e 15 minutos para a leitura de turbidez.

Os resultados do esgoto coagulado na estação foram comparados com o coagulado em *jar test*, o resultado mais próximo ao coagulado na ETE foi o tempo de *jar test* escolhido para representar o processo de coagulação da estação.

Repetiram-se os ensaios (esgoto coagulado na estação e esgoto coagulado em *jar test*) com os tempos mais próximos e realizou as análises de turbidez, SST, DBO e DQO do afluente e dos efluentes dos jarros nos tempos de quatro e 30 minutos.

3.3.5 Avaliação das melhores dosagens de coagulante e auxiliar de coagulação para o esgoto bruto da ETE - Goiânia

O esgoto da ETE – Goiânia foi classificado em duas classes (1 e 2), segundo *Cluster*, para as quais foram otimizadas as dosagens de sulfato férrico e polieletrólito aniônico. Foram colhidas amostras nos horários de coleta de 8:00 e 14:00 horas, por serem horários que representaram as classes 1 e 2, respectivamente. Foi utilizada a ferramenta *jar test* com os tempos e gradiente que melhor representaram a estação. Inicialmente, foi dosado em *jar test* somente sulfato férrico. Nas Tabelas 14 e 15, estão apresentadas as dosagens de coagulante para cada classe avaliada. Foi realizada a análise de turbidez do afluente e do efluente decantado de todos os jarros nos tempos de quatro, seis e 15 minutos.

Para as duas dosagens que obtiveram maiores remoções de turbidez, foram realizados novos ensaios de *jar test* variando a dosagem de polímero. As dosagens do polieletrólito para a classe 1 foram de 0,4; 0,6 e 0,8 mg/L e para a classe 2, de 0,6; 0,8 e 1,0 mg/L. Foram realizadas análises para o esgoto decantado com quatro e com 30 minutos, para os parâmetros de turbidez, DBO, DQO e SST.

Tabela 14 – Dosagens de sulfato férrico aplicadas em *jar test* no esgoto da ETE – Goiânia para classe 1, segundo *Cluster*.

| <i>Produtos</i> | <i>Dosagens (mg/L)</i> | | | | | |
|-------------------------|---|---|---|---|---|---|
| | <i>Jarro 1</i> <i>Fe₂(SO₄)₃</i> | <i>Jarro 2</i> <i>Fe₂(SO₄)₃</i> | <i>Jarro 3</i> <i>Fe₂(SO₄)₃</i> | <i>Jarro 4</i> <i>Fe₂(SO₄)₃</i> | <i>Jarro 5</i> <i>Fe₂(SO₄)₃</i> | <i>Jarro 6</i> <i>Fe₂(SO₄)₃</i> |
| Polieletrólito aniônico | - | - | - | - | - | - |
| Coagulante | 13 | 16 | 19 | 22 | 25 | 28 |

Tabela 15 – Dosagens de sulfato férrico aplicadas em *jar test* no esgoto da ETE – Goiânia para classe 2, segundo *Cluster*.

| <i>Produtos</i> | <i>Dosagens (mg/L)</i> | | | | | |
|-------------------------|---|---|---|---|---|---|
| | <i>Jarro 1</i> <i>Fe₂(SO₄)₃</i> | <i>Jarro 2</i> <i>Fe₂(SO₄)₃</i> | <i>Jarro 3</i> <i>Fe₂(SO₄)₃</i> | <i>Jarro 4</i> <i>Fe₂(SO₄)₃</i> | <i>Jarro 5</i> <i>Fe₂(SO₄)₃</i> | <i>Jarro 6</i> <i>Fe₂(SO₄)₃</i> |
| Polieletrólito aniônico | - | - | - | - | - | - |
| Coagulante | 25 | 28 | 31 | 34 | 37 | 40 |

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO PRELIMINAR DA ETE – GOIÂNIA

4.1.1 Sistema de gradeamento da ETE – Goiânia

4.1.1.1 Concepção do gradeamento grosso adotada no projeto executivo

A concepção adotada no gradeamento grosso foi de limpeza manual, com chegada do esgoto bruto a 17 m de profundidade (Figura 12), em dois canais, sendo um, reserva. Em virtude da profundidade de chegada do esgoto afluyente, há uma acumulação de gases junto ao gradeamento, tornando a limpeza manual muito insalubre. Foi prevista a instalação do tratamento de gases com a implantação da segunda etapa do projeto da estação.

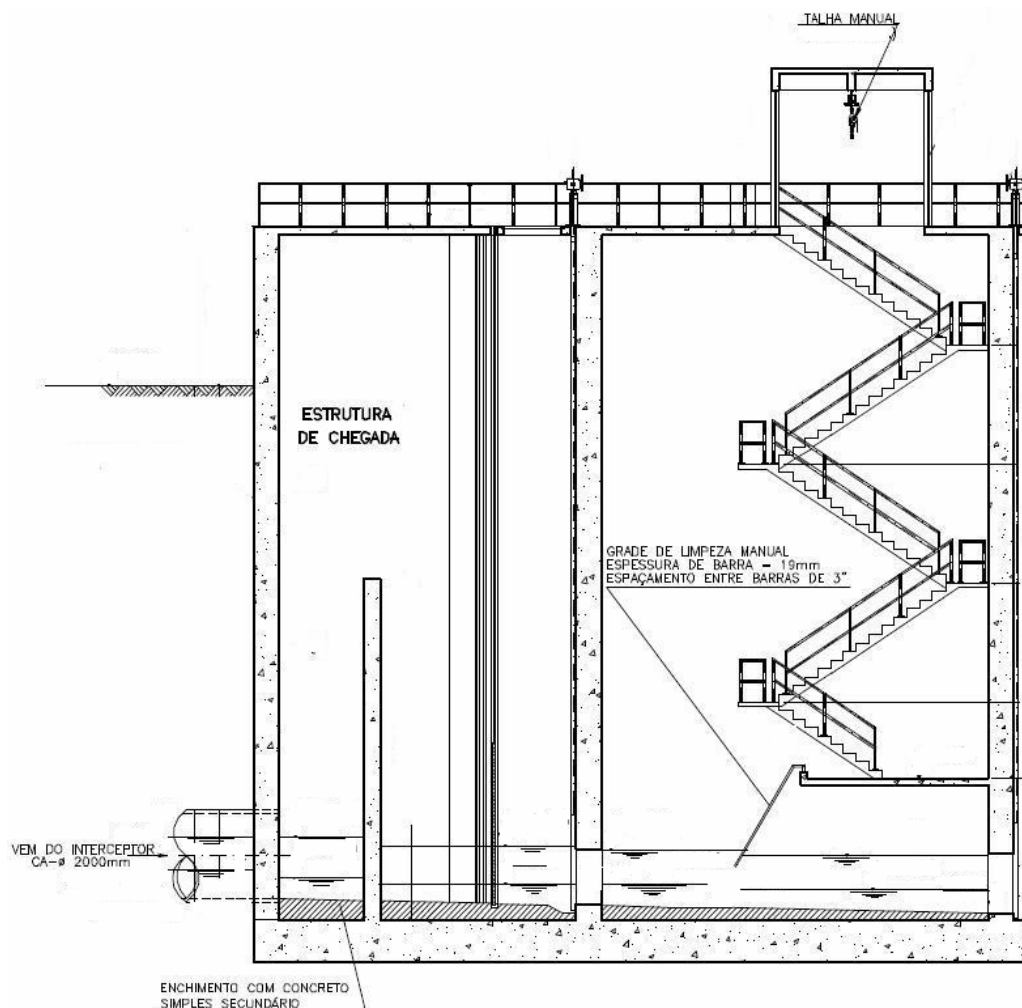


Figura 12 – Corte da estrutura de chegada de esgoto bruto na ETE – Goiânia.

Além da limpeza do gradeamento ser muito insalubre, é necessário entrar no canal e retirar manualmente os fiapos que ficam presos nas travessas da grade. O uso do rastelo ajudaria muito, porque não haveria a necessidade de pessoas entrarem no canal, o que tornaria a ação menos insalubre.

Outro aspecto importante é o isolamento do canal para realização da limpeza. Os canais possuem comportas de acionamento automático a jusante e a montante da grade. Estas exigem manutenção periódica, sendo necessário utilizar as comportas tipo *stop log* de madeira, que são de difícil operação, para que se possam realizar as limpezas diárias.

4.1.1.2 Concepção do gradeamento fino adotada no projeto executivo

As grades finas instaladas nos dois canais da estação, tipo cremalheira, vêm tendo manutenções frequentes. Ocorre, frequentemente, o desnivelamento da estrutura do rastelo, ocasionando travamento das grades. Essas, apesar de terem sistema com temporizador, operam, durante grande parte do tempo, com acionamento manual, para uma maior observação do seu funcionamento por parte do operador, bem como solicitações prévias de manutenções.

O espaçamento entre as barras, de 13 mm, tem se mostrado inadequado para a estação, por permitir a passagem de detritos que flutam junto com a espuma dos decantadores. Como esses detritos são encaminhados para o tratamento de lodo, que é desidratado sem digestão, prejudica o desempenho dos equipamentos utilizados nessa fase do tratamento, aumentando as manutenções de bombas e centrífugas.

4.1.1.3 Dimensionamento dos gradeamentos grosso e fino apresentado no projeto executivo

Os cálculos dos gradeamentos grosso e fino da ETE – Goiânia atendem a NBR 12.208 (1992a), EB 2185 (1991) e NBR 1316 (1994). Porém, ocorre acúmulo de areia no canal de chegada de esgoto, o que prejudica tanto a operação das comportas elétricas quanto a das *stop log*. Cada canal foi calculado para uma vazão inicial mínima de 1.453 L/s, com velocidade de 1,54 m/s, sendo que, atualmente, ocorrem vazões mínimas de 300 L/s na madrugada.

Antes da comporta a montante da grade grossa existe um rebaixamento no piso, que permite o acúmulo de areia, enquanto na comporta a jusante, o rebaixamento é após a grade. Os rebaixamentos podem estar prejudicando o funcionamento das comportas, pois propiciam o acúmulo de areia em períodos de baixa vazão.

4.1.1.4 Aspectos construtivos do projeto executivo

As unidades dos canais dos gradeamentos grosso e fino foram construídas conforme projetado. Existia um engenheiro fiscalizando a obra, além de um acompanhamento de um engenheiro de operação.

4.1.1.5 Operação preconizada no manual de operação pertencente ao projeto executivo

A operação preconizada para a estação foi bem definida para o gradeamento fino, mas precária para o gradeamento grosso. Praticamente, não foram mencionadas informações sobre o gradeamento grosso, deixando o operador sem diretrizes para executar uma boa operação.

As dificuldades encontradas para a operação do gradeamento foram: o acúmulo de gases junto a essas unidades e a retirada dos detritos da grade com o uso do rastelo, em virtude das travessas existentes, já mencionadas anteriormente.

4.1.1.6 Desempenho do gradeamento grosso e fino

O gradeamento com espaçamento de 7,5 cm vem se mostrando adequado, desde que as limpezas sejam realizadas diariamente. As quantidades médias de detritos retidos nas grades grossa e fina foram de 1,0 e 5,0 L/1000 m³ de esgoto tratado, respectivamente. Na Tabela 16, encontram-se apresentados os valores mínimos, médios e máximos desses detritos. Segundo Pereira (apud Imhoff e Imhoff, 1996), uma grade grosseira reteria de 5 a 15 L/hab.ano. Comparando os dados da ETE – Goiânia, na mesma unidade, o valor obtido seria 0,064 L/hab.ano, bem inferior ao especificado.

Tabela 16 – Volumes de detritos gerados no sistema de gradeamento da ETE – Goiânia nos anos de 2005 e 2006.

| Variável/unidade | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo |
|--|-------|---------------|--------|--------|
| Volume de detritos da grade grossa em L por 1.000 m ³ de esgoto tratado | 1,0 | 0,5 | 0,4 | 2,0 |
| Volume de detritos da grade fina em L por 1.000 m ³ de esgoto tratado | 5,0 | 1,7 | 1,9 | 7,7 |

Segundo o relatório de processo do projeto executivo da ETE – Goiânia (2005), a remoção de detrito seria de 20 L/1.000 m³ de esgoto tratado, para o gradeamento fino; porém, os valores encontrados foram sempre abaixo. Conforme Metcalf e Eddy (1991), para uma grade fina com o mesmo espaçamento, a remoção média seria de 60 L/1.000 m³ de esgoto tratado e, segundo WEF (1992), esse valor seria de 15 L/1.000 m³.

Mesmo com valores abaixo do especificado na literatura e dos dados de outras ETEs, não significa que o sistema de remoção desses detritos não seja eficiente. O importante é que a quantidade retida seja adequada para não causar problemas nos equipamentos e unidades subsequentes. Porém, esses valores vêm sendo questionados em virtude do grande número de manutenções que ocorrem nos equipamentos da ETE – Goiânia.

Na Figura 13, encontra-se a variação mensal da remoção de detritos no sistema de gradeamento da ETE – Goiânia, nos anos de 2005 e 2006, enquanto na Figura 14, apresenta-se a remoção de detritos retidos comparadas com a obtida em outras ETEs.

Observa-se na Figura 13, que no ano de 2005, no período chuvoso, de janeiro a abril, houve um aumento no volume de detritos removidos na ETE – Goiânia, o mesmo já não ocorreu no mês de janeiro de 2006. Enquanto no mês de agosto de 2006, mês de estiagem, houve um aumento no volume de detritos removidos.

A ETE – Goiânia apresenta valores de remoções mensais de detritos no sistema de gradeamento maiores que os das ETEs Brasília Sul e Norte da CAESB, no Distrito Federal, com espaçamento entre as barras similares, enquanto as ETEs Samambaia e Recanto das Emas, também da CAESB, apresentam valores de remoções maiores, mas os espaçamentos das grades finas são menores que o da ETE – Goiânia, conforme pode ser observado na Figura 14.

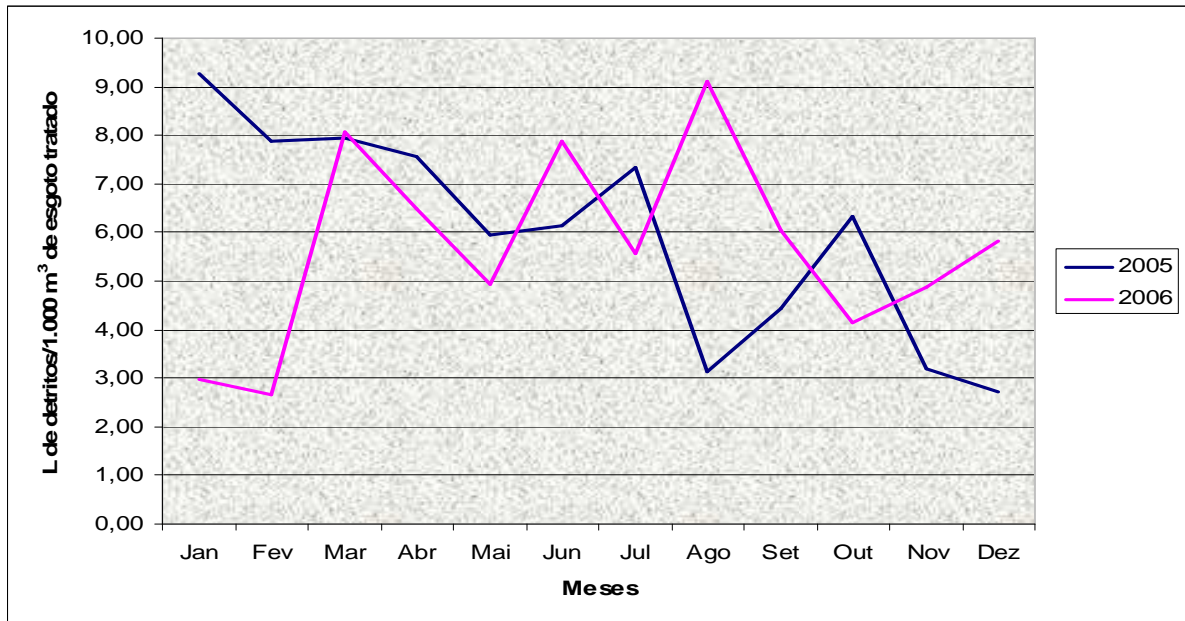


Figura 13 – Variação mensal da remoção de detritos no sistema de gradeamento da ETE – Goiânia, obtidos para os anos de 2005 e 2006.

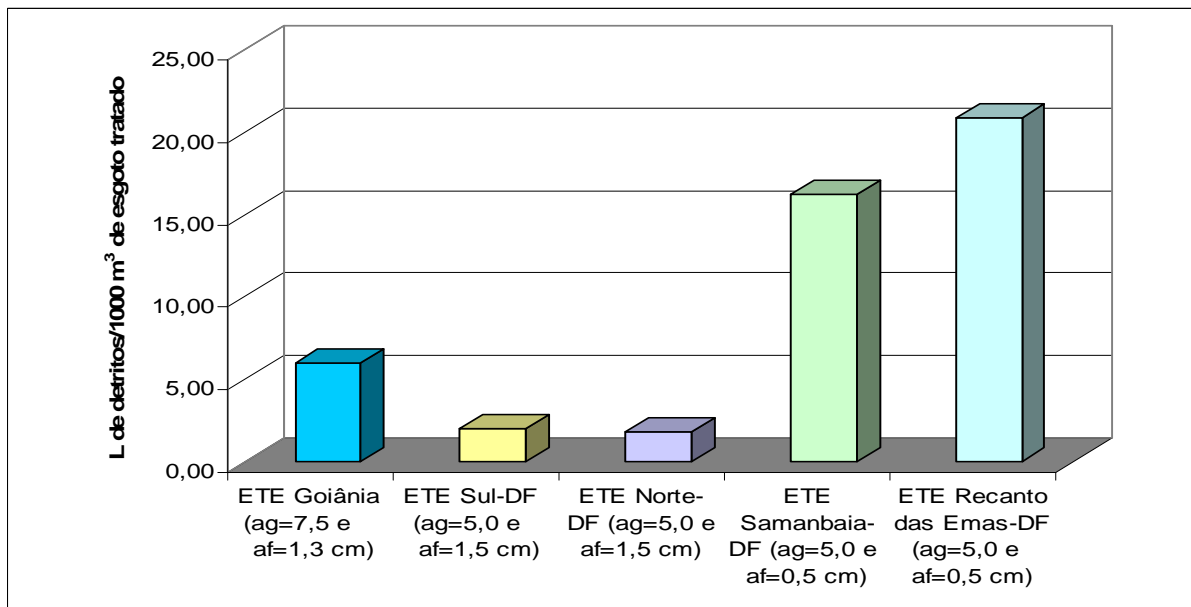


Figura 14 – Comparativo da remoção de detritos gerados na ETE – Goiânia com outras ETEs regionais em 2005.

ag = abertura na grade grossa
af = abertura na grade fina

4.1.1.7 Ensaio de peneiramento da espuma dos decantadores

Inicialmente, a ETE – Goiânia operou suas unidades conforme especificação de projeto, de modo que a espuma flotada nos decantadores era encaminhada para a Estação Elevatória de Lodo Primário (EELP) e, posteriormente, para o tratamento de lodo. No entanto, as manutenções nos equipamentos do tratamento de lodo eram muito frequentes, em virtude dos detritos presentes nesse material. A equipe de operação da estação passou a retirar manualmente esse material através de uma caixa perfurada, com furos de 0,8 a 1,0 mm, cujos detritos presentes na espuma eram removidos antes de serem conduzidos para a EELP. Os detritos retidos nas caixas perfuradas eram retirados e dispostos em contêiner e encaminhados para o aterro sanitário municipal. Mesmo com essa operação, ainda ocorre entupimento de tubulações e manutenções nas bombas da EELP, embora com menor frequência. Outro equipamento que apresenta necessidade de manutenções frequentes são as centrífugas de desaguamento do lodo primário.

Quanto à avaliação da espuma que flota nos decantadores, os resultados dos ensaios mostraram que a peneira de 3 mm removeu 82% dos detritos em relação à peneira de 1 mm e que a peneira de 6 mm removeu 63%, em relação à mesma peneira. As peneiras estudadas foram as normalmente encontradas no mercado e, nesse ensaio, a peneira de 1 mm foi considerada a que removeu 100% dos detritos presentes na espuma.

Embora a peneira de 3 mm tenha apresentado uma porcentagem de remoção maior que a de 6 mm, não é possível sua implantação em substituição às existentes em virtude da sua maior perda de carga, que eleva o nível do canal da grade, podendo ocorrer o transbordamento de esgoto. A implantação da peneira de 3 mm na ETE – Goiânia necessitaria de obras onerosas e de difícil implantação, não sendo a alternativa pensada por parte da concessionária no momento.

Outro aspecto avaliado foi a composição da espuma, a qual apresentou teores de STV de 84% antes da passagem pelas peneiras, e teores médios de 87, 89 e 78% para o material retido nas peneiras de um; três e seis mm, respectivamente. Trata-se de material com alta porcentagem de material orgânico, sendo passível de digestão, o que normalmente ocorre em estações convencionais.

Já estão em fase de aquisição duas peneiras tipo escalar com espaçamento de seis mm pela Saneago, para serem implantadas na ETE – Goiânia.

4.1.2 Caixas de areia da ETE – Goiânia

4.1.2.1 Concepção adotada no projeto executivo

A concepção adotada de caixa de areia aerada para a ETE – Goiânia teve como objetivo a remoção de areia e a mistura rápida do coagulante.

As tubulações de sucção e recalque da areia conduzem esse material para o classificador, porém, propiciam o acúmulo de materiais e, conseqüentemente, entupimentos, em virtude do barrilete das bombas e das várias curvas existentes nessas tubulações.

4.1.2.2 Dimensionamento das caixas de areia apresentado no projeto executivo

O dimensionamento das caixas de areia aeradas da ETE – Goiânia, pertencentes ao projeto executivo, atendem os requisitos na norma NBR 12.209 (1992b).

4.1.2.3 Aspectos construtivos

Após avaliação do projeto executivo pela equipe de operação da SANEAGO, observou-se que a cortina de distribuição de vazão da caixa de areia não foi construída conforme deveria ter sido, prejudicando a distribuição do esgoto na entrada da caixa. Segundo Metcalf e Eddy (1991), a entrada de vazão nessa unidade deveria ser perpendicular ao escoamento, a fim de promover o fluxo helicoidal e, por conseguinte, aumentar a remoção de areia.

4.1.2.4 Manual de operação apresentado no projeto executivo

O manual de operação da ETE – Goiânia orienta as ações para a operação da caixa de areia, mas os constantes entupimentos nas tubulações de recalque e sucção não permitiram operar conforme o preconizado no manual. Atualmente, como a vazão máxima é de 1.800 L/s, estão em operação as duas caixas de areia existentes, o que resulta em um TDH de oito

minutos, sendo que o necessário seria de 3,2 minutos conforme especificado no manual de operação. Esses freqüentes entupimentos mudaram, portanto, os parâmetros de TDH e vazão de ar, dificultando a operação desta unidade.

4.1.2.5 Desempenho das caixas de areia

As caixas de areia aeradas da ETE – Goiânia não possui um bom desempenho, mas possuem um baixo teor STV na areia removida. A reforma na cortina de distribuição do fluxo na entrada da caixa certamente aumentará a remoção de areia; porém, devem ser melhoradas, também, as tubulações de sucção e recalque, objetivando diminuir os entupimentos dessas linhas.

Quando forem finalizadas as melhorias necessárias ao bom funcionamento das caixas de areia, poder-se-á avaliar o volume de ar a ser adicionado nessas caixas objetivando sua otimização. Atualmente é adicionado o volume de ar médio, segundo o projeto executivo da ETE Goiânia.

Quanto à remoção de areia, observa-se que a média foi de 16,5 L/1.000 m³ e o valor máximo foi de 29,3 L/1.000 m³ de esgoto tratado. Na Figura 15, encontra-se a variação mensal média da remoção de areia para os anos de 2005 e 2006. Segundo relatório de processo da ETE – Goiânia (SANEAGO, 2005a), o volume de areia removido seria de 40 L/1.000 m³ de esgoto tratado, entretanto, os quantitativos encontrados ficaram sempre abaixo desse valor. Conforme Metcalf e Eddy (1991) e WEF (1992), a remoção de areia é de cerca de 15 L/1.000 m³ de esgoto tratado, podendo variar de 3,7 a 202,0 L/1.000 m³ de esgoto tratado. Na Figura 16, observa-se que o volume de areia removida da ETE – Goiânia também se encontra inferior aos valores encontrados em ETES outras regionais.

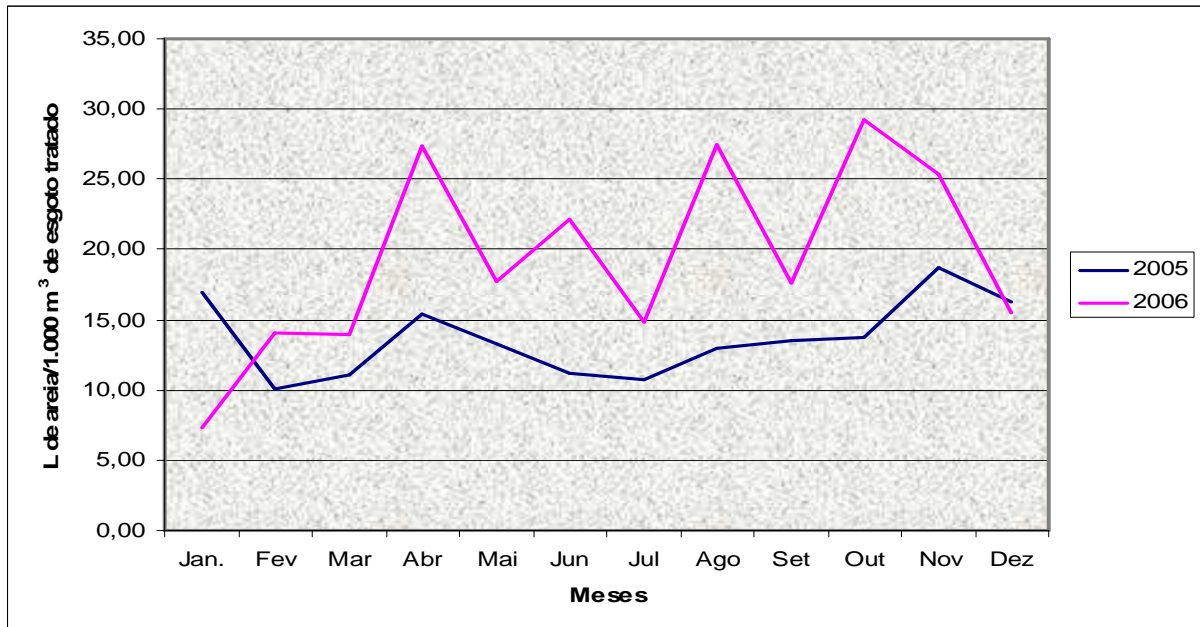


Figura 15 – Variação mensal média da remoção de areia na ETE – Goiânia nos anos de 2005 e 2006.

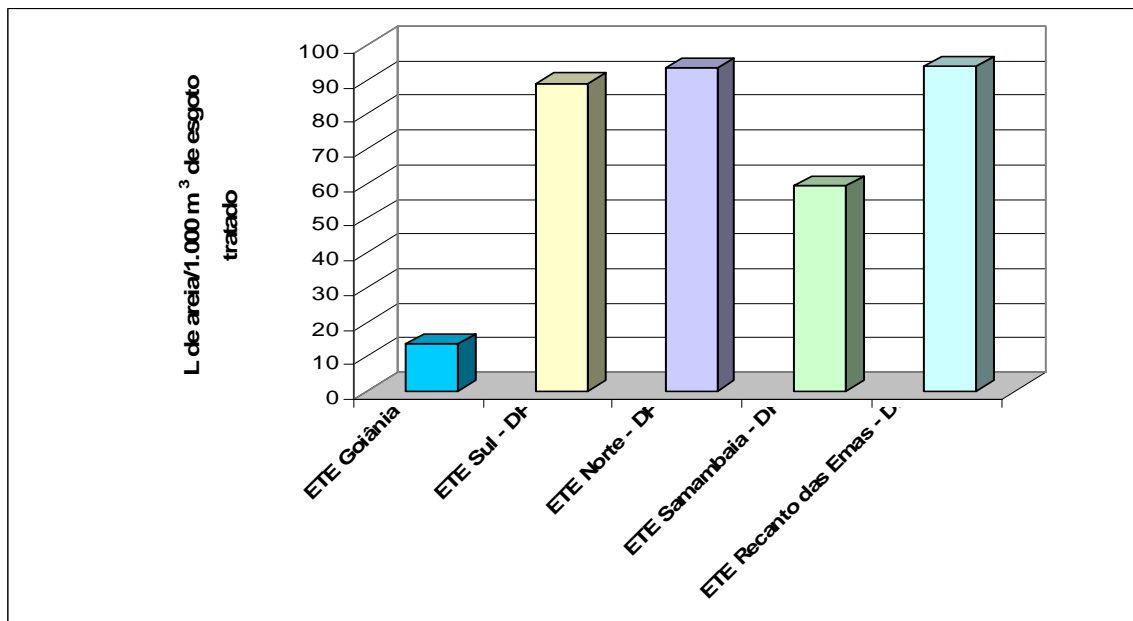


Figura 16 – Volumes de areia gerados em diferentes ETEs no ano de 2005.

A avaliação do teor de STF fixo no lodo primário é importante também para verificar a eficiência da caixa de areia. Quanto maior a remoção de areia, menor é a quantidade de STF presente no lodo primário.

Conforme pode ser observado na Figura 17, nos meses de outubro a dezembro de 2006, o lodo primário da EELP obteve teores de STF em torno de 40% dos ST. Enquanto no

mês de novembro esse valor ficou acima de 40% e no mês de dezembro ficou um pouco abaixo desse valor. Segundo Metcalf e Eddy (1991), o valor típico de STF do lodo primário varia de 20 a 40% do ST. Mas, segundo informação da equipe de manutenção da SANEAGO, houve desgaste nas centrífugas por abrasão, portanto, para a ETE – Goiânia há a necessidade de diminuir o teor de STF no lodo primário.

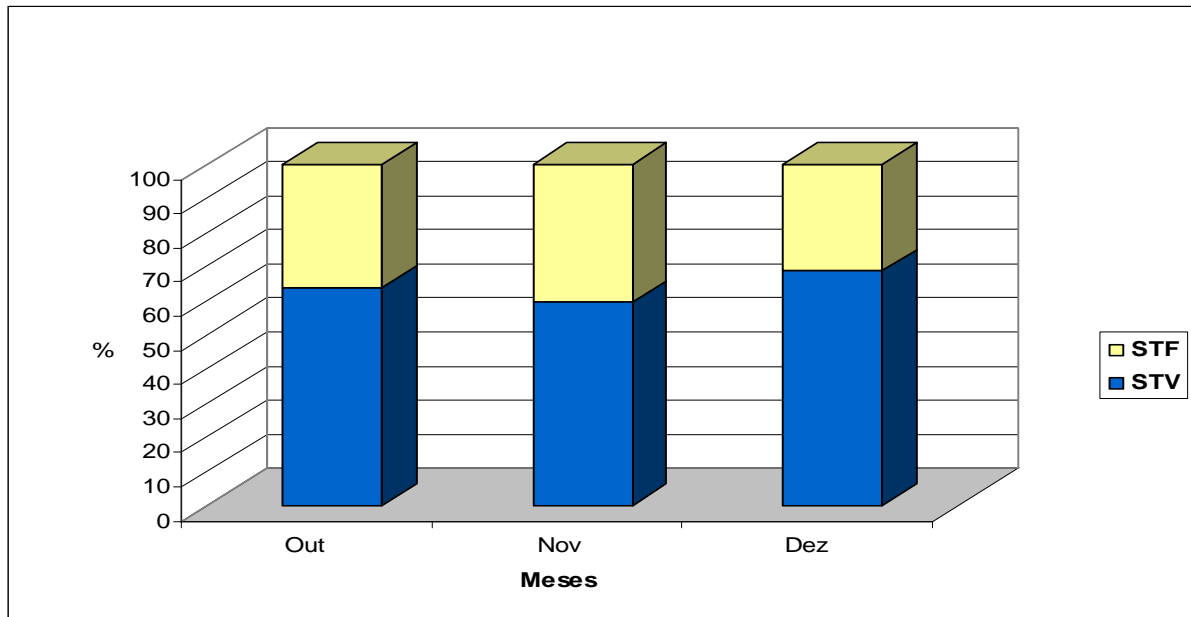


Figura 17 - Variação dos STF do lodo primário na EELP da ETE – Goiânia no ano de 2006.

Busca-se, em uma caixa de areia, a remoção da areia com a menor quantidade de partículas orgânicas. Sendo assim, na ETE – Goiânia, a areia removida do esgoto apresentou, no ano de 2005, valores médios de STV nos meses de julho a outubro de 41,3% em relação aos ST, e nos meses de novembro e dezembro a média de 9,0%, conforme pode ser observado na Figura 18. Já no ano de 2006, houve uma maior estabilidade dos teores de STV na areia, que são abaixo dos valores encontrados no ano de 2005, obtendo média de 16,2 % e valor máximo no mês de maio de 28,0% de STV em relação aos ST.

Estão apresentadas na Figura 19 as variações mensais dos teores de STV e STF do ano de 2006. Segundo Metcalf e Eddy (1991), o teor de matéria orgânica em relação aos sólidos totais varia de 1 a 56% para caixa de areia aerada, enquanto para Jordão e Pessoa (2005), o valor máximo é de 30% de STV.

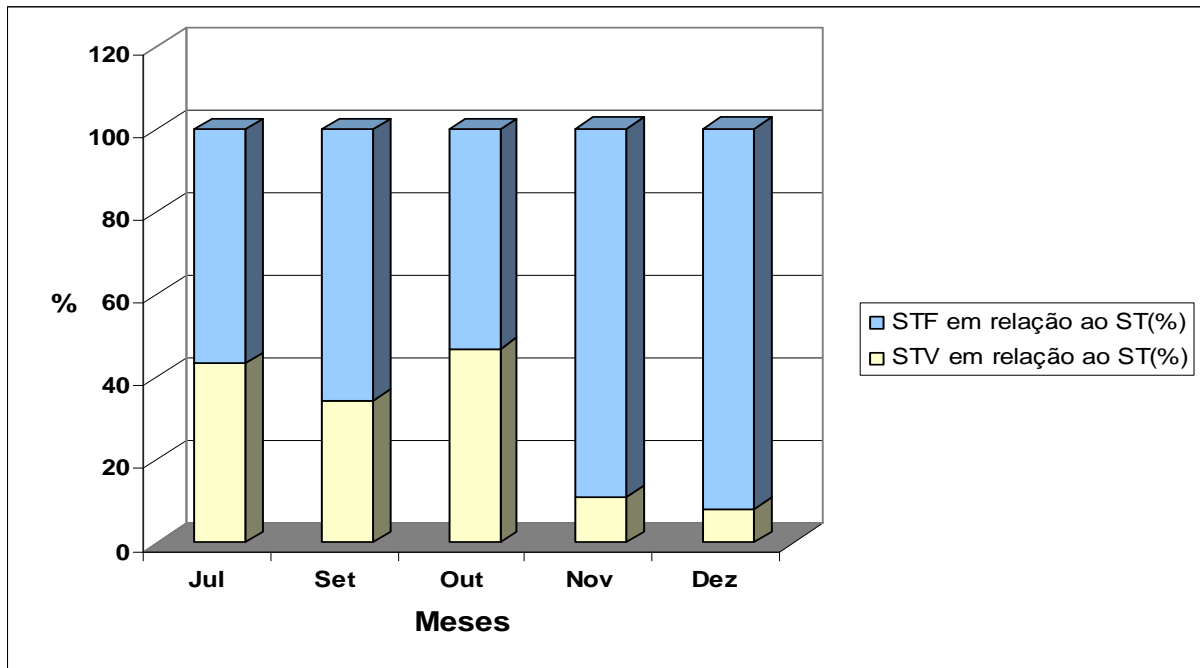


Figura 18 – Variação mensal dos teores de STF e STV da areia retida na ETE – Goiânia no ano 2005.

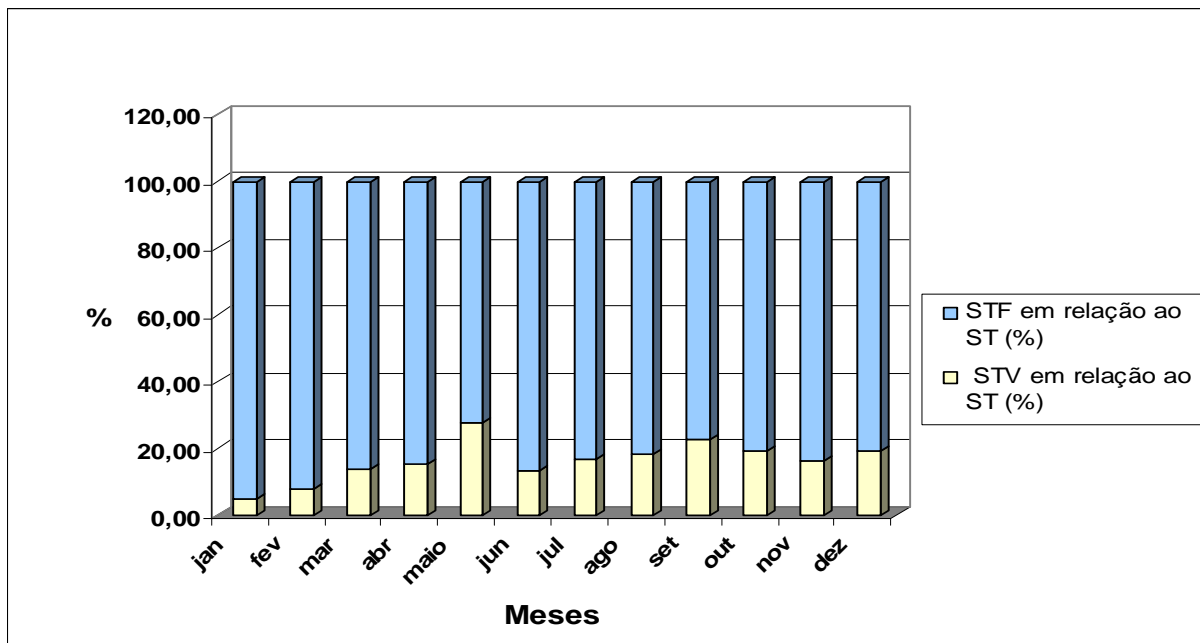


Figura 19 – Variação mensal dos teores de STF e STV da areia retida na ETE – Goiânia em 2006.

4.2 PROPOSIÇÕES DE MELHORIAS PARA O PROCESSO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO DA ETE – GOIÂNIA

4.2.1 Caracterização do esgoto bruto da ETE – Goiânia

Os resultados das características do esgoto bruto da ETE – Goiânia mostrou variação diária e mensal. Essa variação refletiu os hábitos das comunidades, cujos esgotos são tratados na ETE – Goiânia.

4.2.1.1 Variação horária da concentração de DBO e SST do esgoto bruto

O esgoto bruto da ETE – Goiânia apresentou variação entre os dias avaliados e ao longo das horas de cada dia, sendo que as maiores concentrações de DBO e SST encontram-se no período das 09:00 às 24:00 horas. Nas Figura 20, está apresentado o comportamento da DBO, nos três dias analisados.

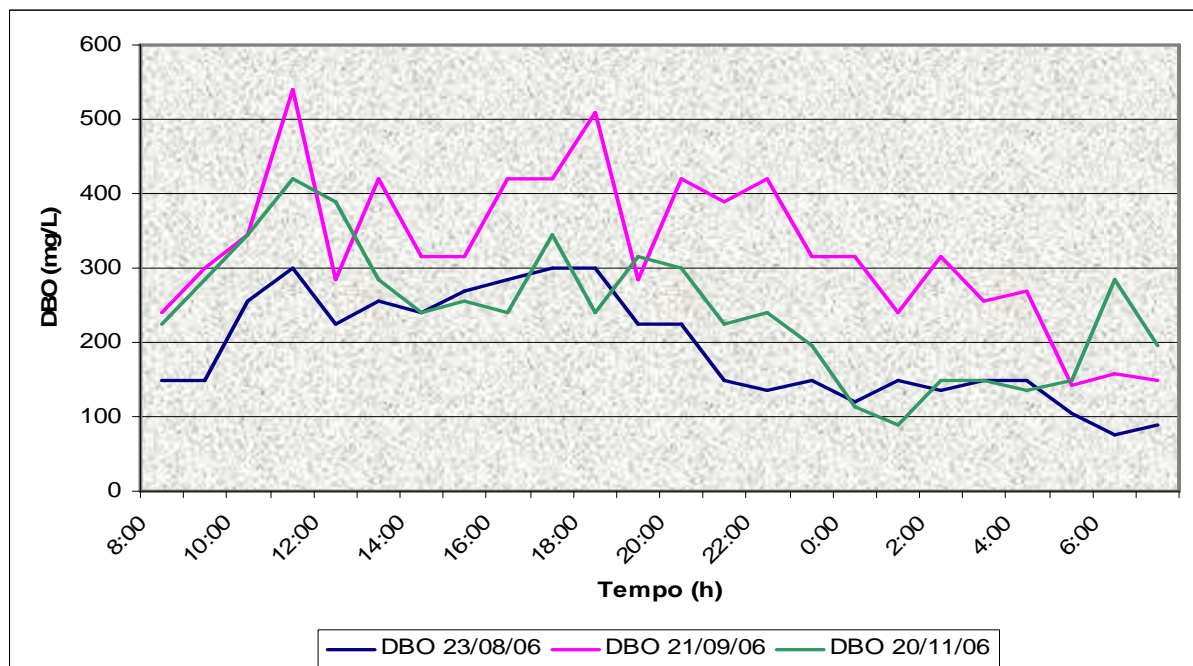


Figura 20 – Variação horária de DBO do esgoto bruto da ETE – Goiânia.

Os resultados de SST diários apresentaram comportamento similares entre si, com exceção de picos que ocorreram no dia 20/11/2006, das 18:00 às 19:00 horas e no dia 21/09/2006 às 2:00 horas (Figura 21).

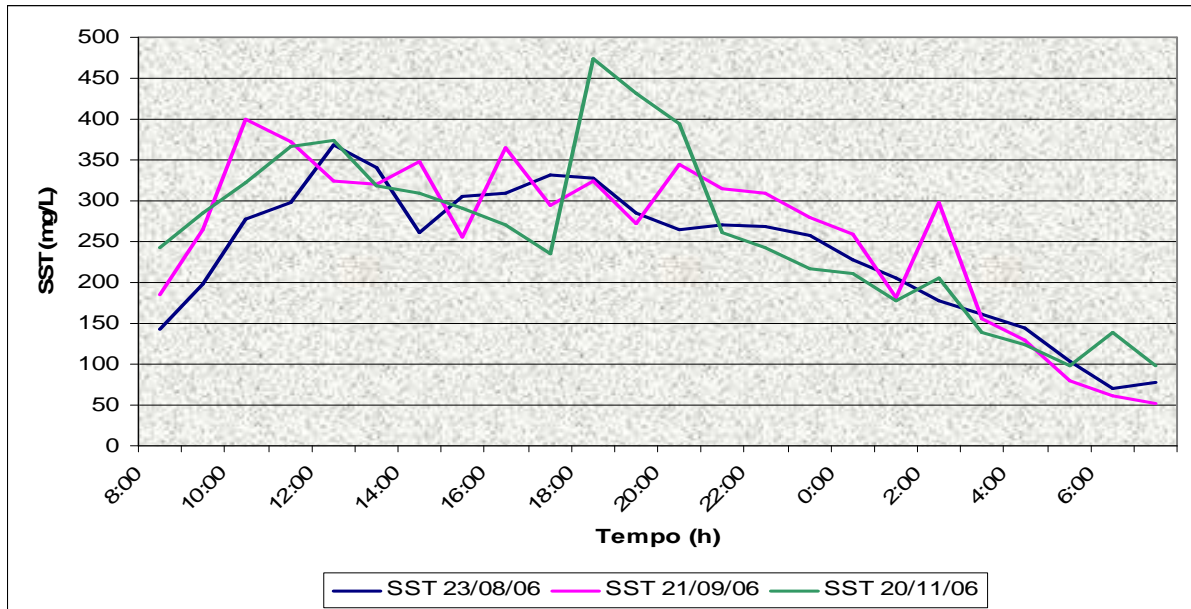


Figura 21 – Variação horária de SST do esgoto bruto da ETE – Goiânia.

A Figura 22 apresenta as variações médias horárias de DBO e SST das análises do esgoto bruto durante as 24 horas do dia. Nos horários de preparação de alimentos e de retorno das pessoas no para seus lares, final da tarde, encontram os picos das médias dos parâmetros analisados. Após as 22:00 horas, observa-se uma diminuição nos valores médios de DBO e SST.

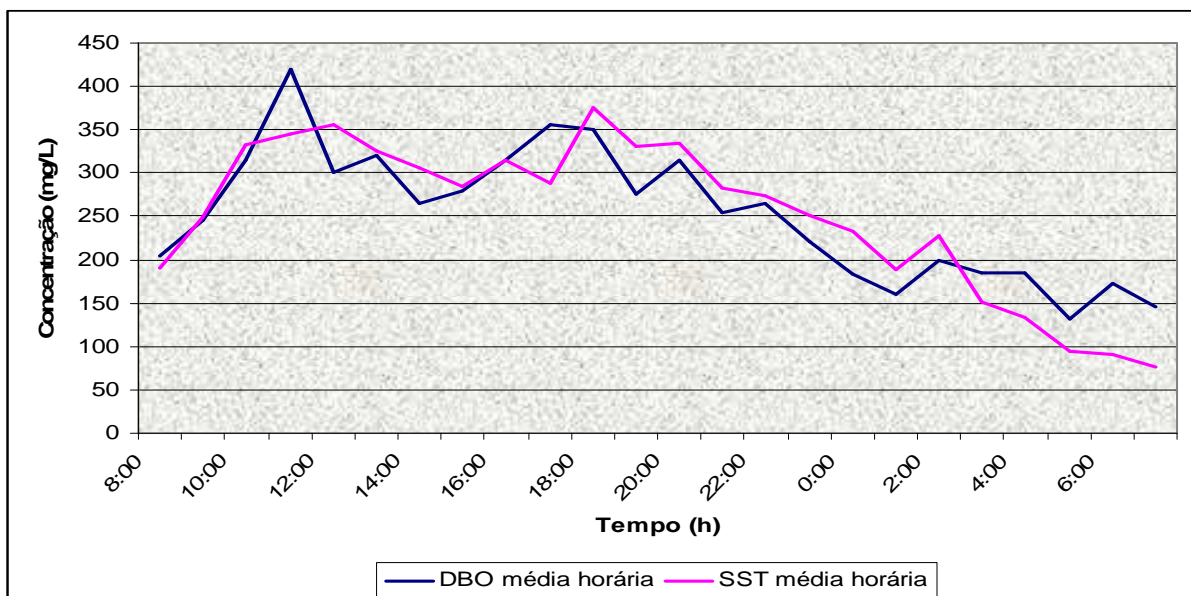


Figura 22 – Médias horárias de DBO e SST do esgoto bruto da ETE – Goiânia.

A Tabela 17 apresenta a estatística básica referente às concentrações de SST e DBO durante as 24 horas. A média de DBO foi de 253 mg/L e de SST de 251 mg/L; os valores máximos foram de 540 e 474 mg/L, respectivamente. Os valores médios de SST e DBO confirmaram os levantamentos anteriores à implantação da ETE, realizados pela SANEAGO, os quais nortearam o projeto da estação, que foram de 250 mg/L e 300 m/L, respectivamente. O desvio padrão apresentado para os parâmetros DBO e SST mostra a necessidade de ter dosagens de produtos químicos de acordo com as características do esgoto afluente à estação, em virtude da grande variação desses parâmetros.

Tabela 17 - Estatísticas básicas referentes às variações das concentrações de SST e DBO durante 24 horas.

| Variável | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo |
|------------|-------|---------------|--------|--------|
| DBO (mg/L) | 253 | 102 | 75 | 540 |
| SST (mg/L) | 251 | 95 | 52 | 474 |

A análise de Cluster indicou que as concentrações de DBO e SST poderiam ser divididas em duas categorias, classes 1 e 2. Os valores médios da classe 1 foram de 162 e 160 mg/L e da classe 2 de 317 e 316 mg/L de DBO e SST, respectivamente. Essas classes forneceram subsídios para os ensaios de otimização das dosagens do coagulante e auxiliar de floculação.

4.2.1.2 Variação mensal de DBO, SST, DQO e turbidez do esgoto bruto

Os resultados indicaram que houve pouca variação dos valores médios de turbidez, DBO, SST e DQO do esgoto bruto ao longo do ano de 2006. Os valores médios mensais dos parâmetros do esgoto bruto avaliado na ETE – Goiânia encontra-se apresentados na Figura 23.

Foi feita uma análise estatística através de três métodos de previsão, que está apresentada na Tabela 18. Os resultados sugerem a utilização conjunta das variáveis Turbidez e DQO como parâmetros de previsão das características do esgoto bruto, com 85,8%, de acerto. Porém, não é fácil colocar na prática operacional a análise de DQO. O usual é a utilização de equipamentos de processos, com determinações instantâneas, como analisado de SST ou monitor de coagulante com o princípio do potencial zeta.

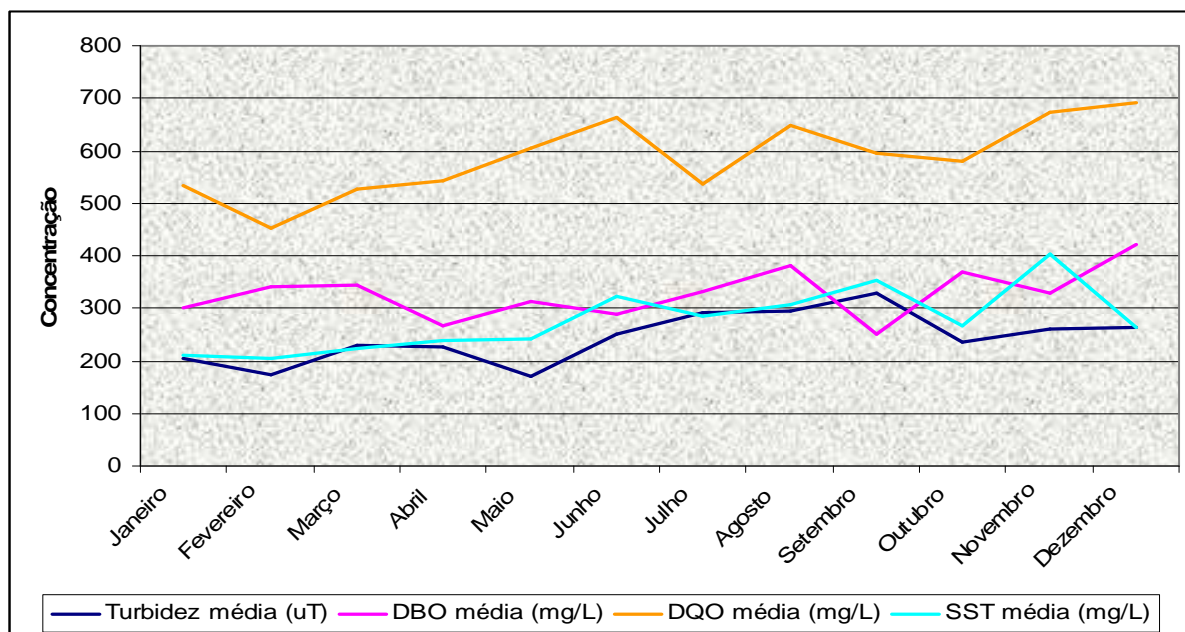


Figura 23 - Variação da média mensal dos resultados de Turbidez, DBO, SST e DQO da ETE - Goiânia do ano de 2006.

Tabela 18 – Valores preditórios para os parâmetros Turbidez, DBO, SST e DQO do esgoto bruto do ano de 2006.

| Variável (preditora) | Método de predição | | |
|----------------------------|--------------------|----------|-----------------|
| | Validação cruzada | Jackknif | Ressubstituição |
| Turbidez | 49,8 | 59,0 | 59,0 |
| SST | 53,0 | 68,0 | 70,0 |
| DBO | 52,8 | 53,0 | 53,0 |
| DQO | 76,8 | 73,0 | 74,0 |
| Turbidez + SST | 54,7 | 71,0 | 77,0 |
| Turbidez + DQO | 85,8 | 83,0 | 86,0 |
| SST + DQO | 70,9 | 79,0 | 80,0 |
| Turbidez + DBO + DQO + SST | 99,1 | 98,0 | 100,0 |

Segundo HANGOUET, J. P. *et al.* (2007), a otimização da aplicação de cloreto férrico na ETE *Clos Hilde* localizada na zona urbana de Bordeaux na França, utilizando equipamento de processo de SST e medidor de vazão, resultou em incremento de redução de 11% de SST e 13% de DBO, com uma redução no consumo de cloreto férrico de 25% e de redução na produção de lodo de 8%.

Outras características químicas também são importantes para se otimizar o processo de coagulação, como o pH, que variou na ETE - Goiânia de 6,7 a 7,0, e a alcalinidade que foi, em média, de 290 mg/L, no ano de 2006. Quanto ao pH, os coagulantes à base de ferro atuam em uma faixa mais ampla, que é de 4,5 a 11.

4.2.2 Determinação em *jar test* do tempo da mistura rápida e o gradiente de velocidade da ETE – Goiânia

Após a avaliação das características do esgoto bruto, buscou-se adaptar a ferramenta *jar test*, para as condições de campo da ETE – Goiânia, nas duas opções selecionadas de dosagem de produtos químicos no esgoto bruto.

4.2.2.1 Aplicação de coagulante no início da caixa de areia e polieletrólito a 5,9 metros, a montante da calha *parshall* (opção 1)

O tempo de coagulação e o gradiente de velocidade em *jar test* que mais se aproximaram dos resultados da estação foi oito minutos e 30 segundos, e 125 s^{-1} , respectivamente, sendo que o tempo em *jar test* foi 77% do tempo real da estação.

As Ilustrações 24 e 25 apresentam os resultados das variações dos tempos de coagulação para o gradiente de velocidade de 125 s^{-1} e 300 s^{-1} . Para definição do ensaio de bancada que mais representou a estação, foi calculada a diferença, em porcentagem, entre os resultados de turbidez encontrados em *jar test* em relação à estação, para os gradientes de velocidade avaliados (Tabelas 19 e 20). O tempo de coagulação de oito minutos e 30 segundos com gradiente de velocidade de 125 s^{-1} foi o ensaio que obteve a menor diferença percentual entre o esgoto coagulado na estação e em bancada.

Tabela 19 – Diferença em porcentagem de turbidez entre o esgoto coagulado no *jar test* em relação ao coagulado na ETE em diferentes tempos de decantação para o gradiente de 125 s^{-1} .

| Tempo de decantação (min) | % da diferença entre o coagulado na <i>jar test</i> em relação a ETE | | | |
|---------------------------|--|--------------|-------|--------------|
| | 7 min | 7 min e 30 s | 8 min | 8 min e 30 s |
| 4 | -7 | -11 | -12 | 4 |
| 6 | -2 | -10 | -9 | -5 |
| 15 | -5 | -6 | -9 | -4 |

Tabela 20 - Diferença em porcentagem de turbidez entre o esgoto coagulado no *jar test* em relação ao coagulado na ETE em diferentes tempos de decantação para o gradiente de 300 s^{-1} .

| Tempo de decantação (min) | % da diferença de turbidez entre o esgoto coagulado na <i>jar test</i> em relação à ETE | | | |
|---------------------------|---|--------------|-------|--------------|
| | 7 min | 7 min e 30 s | 8 min | 8 min e 30 s |
| 4 | -24 | -15 | -18 | -17 |
| 6 | -27 | -23 | -21 | -16 |
| 15 | -27 | -20 | -11 | -11 |

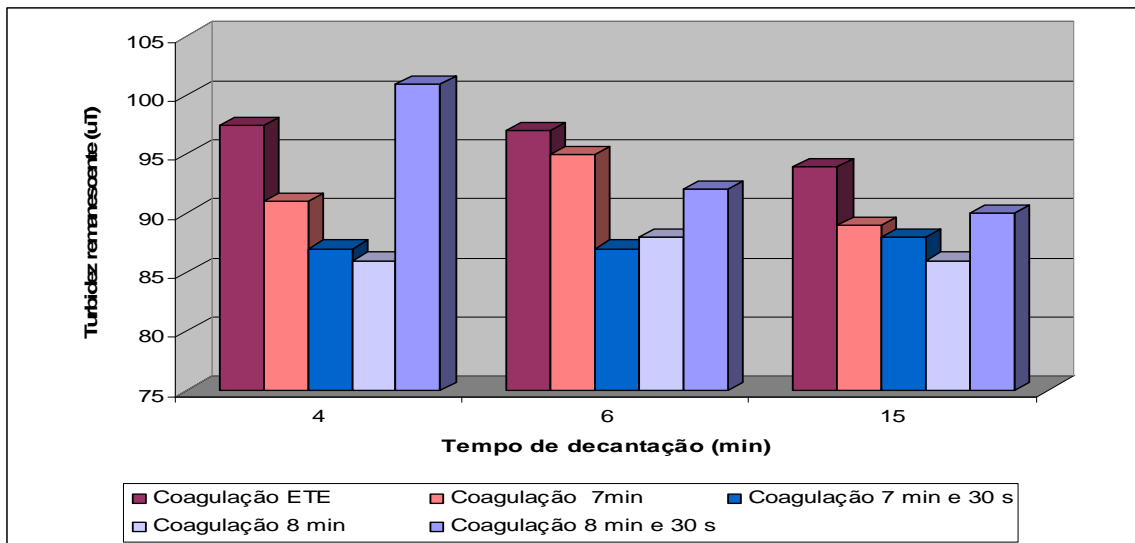


Figura 24 – Variação de turbidez remanescente ao longo do tempo de decantação para esgoto coagulado e em *jar test*, com gradiente de velocidade de 125 s^{-1} e turbidez do esgoto bruto de 246 uT.

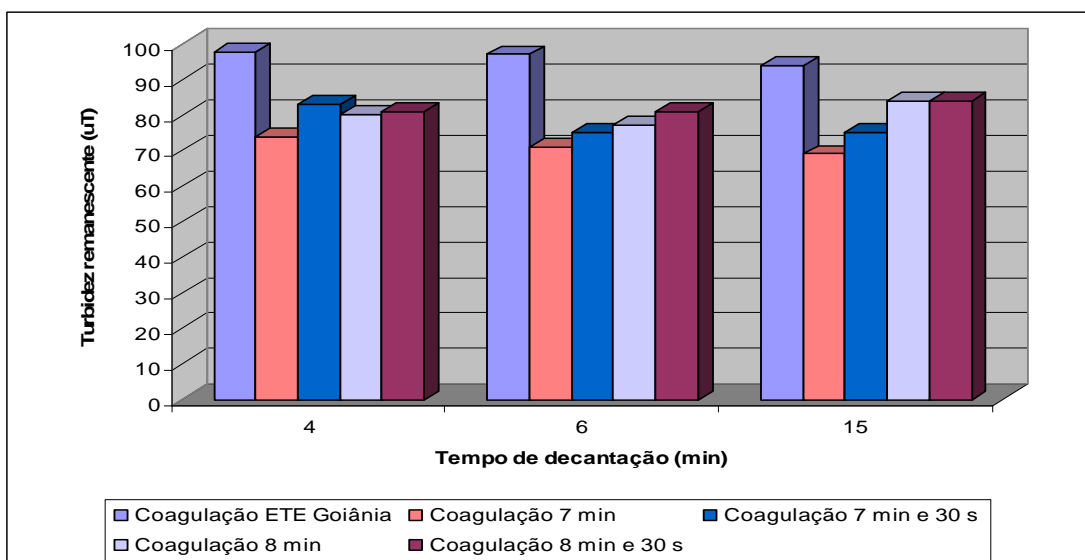


Figura 25 – Variação de turbidez remanescente ao longo do tempo de decantação para esgoto coagulado na estação e em *jar test*, com gradiente de velocidade de 300 s^{-1} e turbidez do esgoto bruto de 246 uT.

Em ensaios realizados em *jar test*, após a definição do tempo de coagulação de oito minutos e 30 segundos e gradiente de velocidade de 125 s^{-1} , os resultados de turbidez apresentaram uma diferença maior do que o ensaio que definiu essa condição, entre as coagulações feitas em *jar test* e na estação. Na Figura 26, encontram-se os valores de turbidez remanescente em diferentes tempos de decantação para o ensaio de *jar test*.

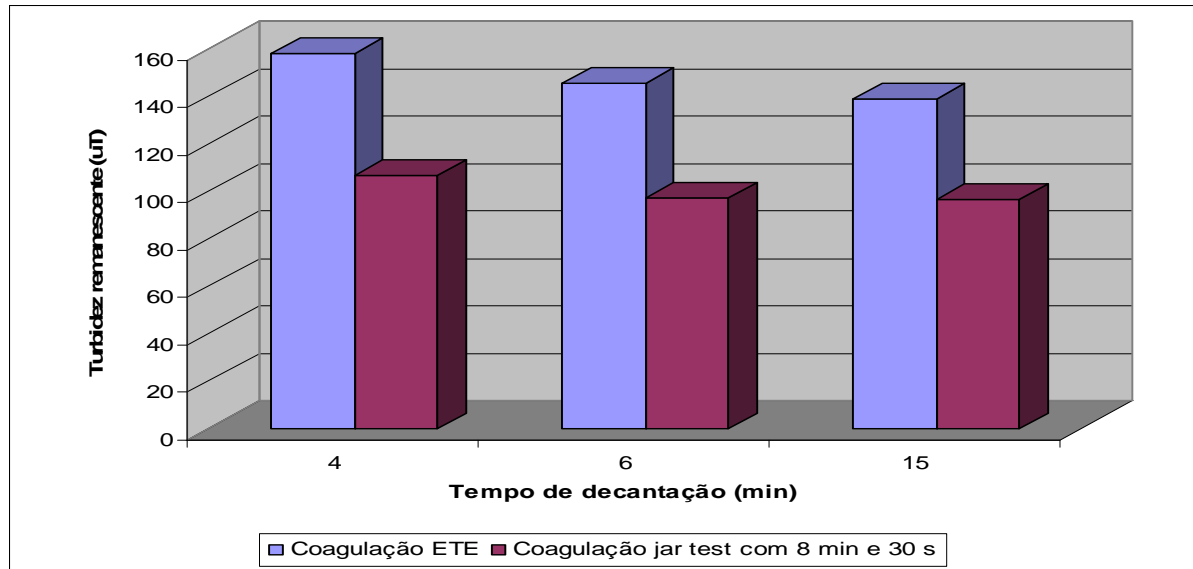


Figura 26 – Variação de turbidez remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em *jar test*, com gradiente de velocidade de 125 s^{-1} e turbidez do esgoto bruto de 295 uT.

A DBO remanescente, apresentada na Figura 27, mostra uma diferença pequena entre os resultados da coagulação realizada na estação com os de *jar test*, para o tempo de 15 minutos de decantação, sendo que para o tempo de quatro e seis minutos a diferença foi maior.

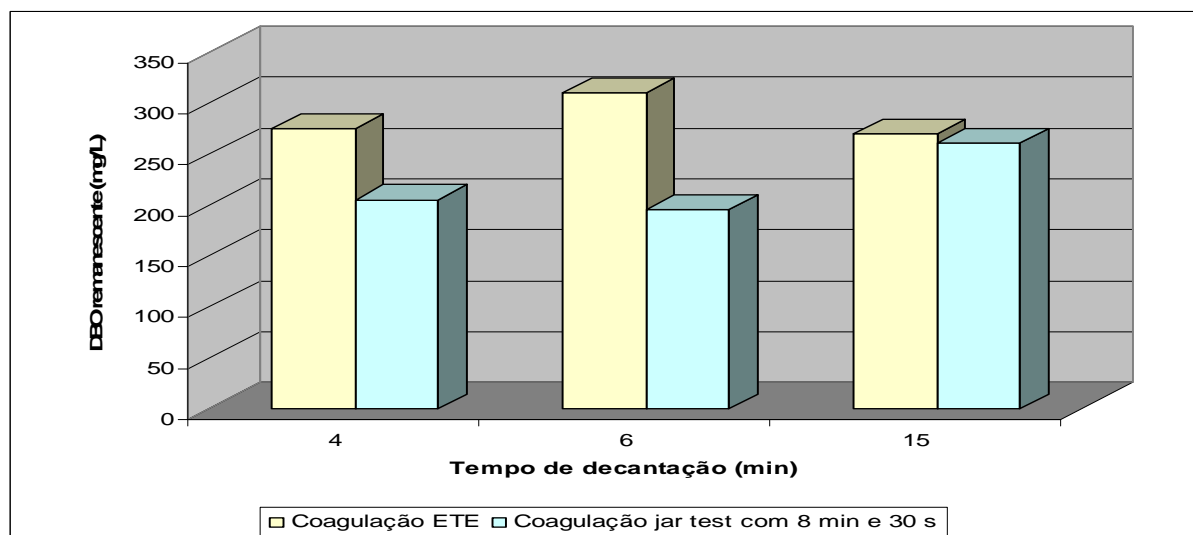


Figura 27 – Variação de DBO remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em *jar test*, com gradiente de velocidade de 125 s^{-1} e DBO do esgoto bruto de 375 mg/L.

Foi encontrada uma grande similaridade entre os resultados de DQO remanescente da coagulação realizada na estação com o *jar test*, para os diferentes tempos de decantação, os quais são apresentados na Figura 28.

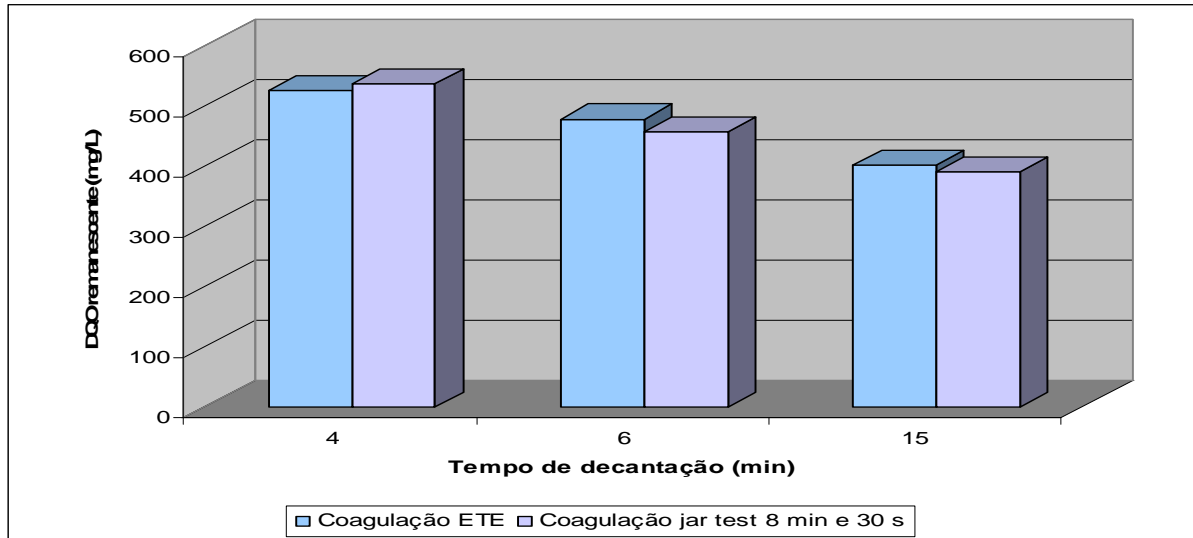


Figura 28 – Variação de DQO remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em *jar test*, com gradiente de velocidade de 125 s^{-1} e DQO do esgoto bruto de 704 mg/L .

A variação de SST remanescente entre o esgoto coagulado na estação e em bancada ficou maior para o tempo de decantação de seis minutos (Figura 29), enquanto que, para o tempo de 15 minutos o resultado da estação ficou 18% maior que o do *jar test*.

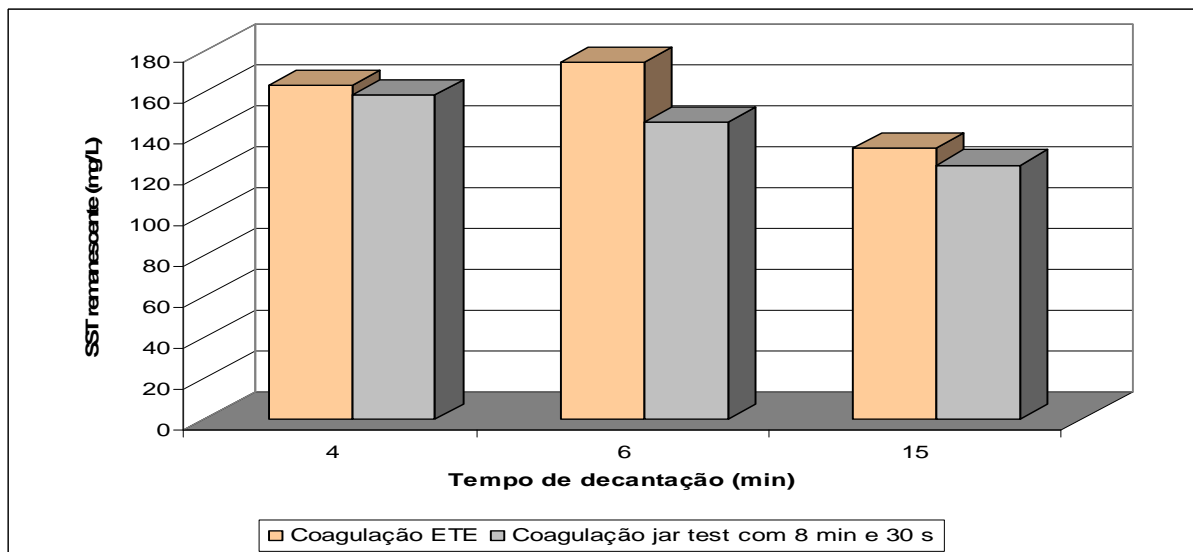


Figura 29 – Variação de SST remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em *jar test*, com gradiente de velocidade de 125 s^{-1} e SST do esgoto bruto de 284 mg/L .

Na Tabela 21, pode ser verificado o tempo representativo da estação e o levantamento do tempo real, que norteou os ensaios, bem como os gradientes de velocidade selecionados.

Tabela 21 – Tempos reais da ETE – Goiânia, e tempos representativos, com os respectivos gradientes de velocidade, encontrado em *jar test* para a opção 1 de aplicação de produtos químicos.

| Processo | Tempo real | Tempo representativo | Gradiente de velocidade (s^{-1}) |
|--|------------|----------------------|--------------------------------------|
| Tempo de coagulação (1 caixa de areia) | 6 min 20 s | 4 min 30 s | 125 |
| Tempo de coagulação (2caixas de areia) | 11 min | 8 min 30 s | 125 |
| Tempo de floculação | 6 min 43 s | 4 min | 15 |
| Tempo de sedimentação | 30 min | 30 min | 0 |

4.2.2.2 Aplicação de coagulante imediatamente a montante do ressalto hidráulico da calha *parshall* e polieletrólito a 5 metros a jusante da calha *parshall* (opção 2)

A aplicação de produtos químicos que, conforme opção 2, obteve os resultados em *jar test* que mais representaram a ETE – Goiânia, foi o tempo de coagulação de 20 segundos e gradiente de velocidade de $600 s^{-1}$.

Na Figura 30, encontram-se os resultados de turbidez remanescente do esgoto coagulado na estação e em *jar test*, para diferentes tempos de decantação, com gradiente de velocidade de $1.200 s^{-1}$. Observa-se que os resultados da estação em relação ao *jar test* ficaram muito diferentes.

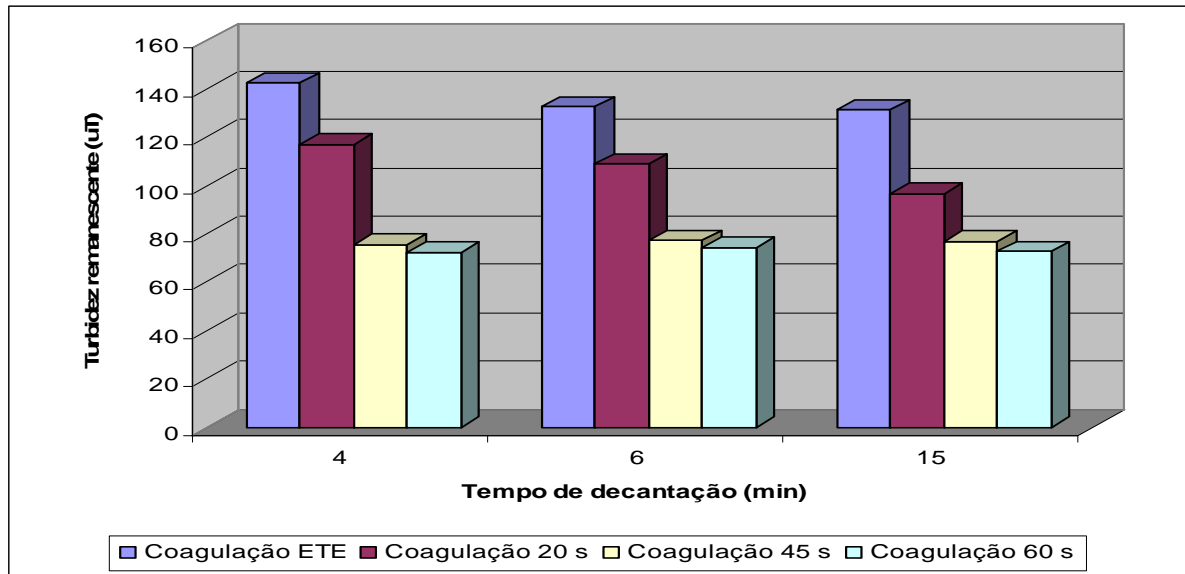


Figura 30 – Variação de turbidez remanescente ao longo do tempo de decantação para esgoto coagulado na estação e em *jar test*, com gradiente de velocidade de 1.200 s^{-1} e turbidez do esgoto bruto de 265 mg/L .

A aplicação do gradiente de velocidade de 1.000 s^{-1} , para simular em *jar test* o esgoto coagulado na estação, também não alcançou resultados satisfatórios, como pode ser verificado na Figura 31. Todos os resultados de turbidez remanescente para diferentes tempos de decantação do esgoto coagulado em *jar test*, ficaram bem menores que os do coagulado na estação.

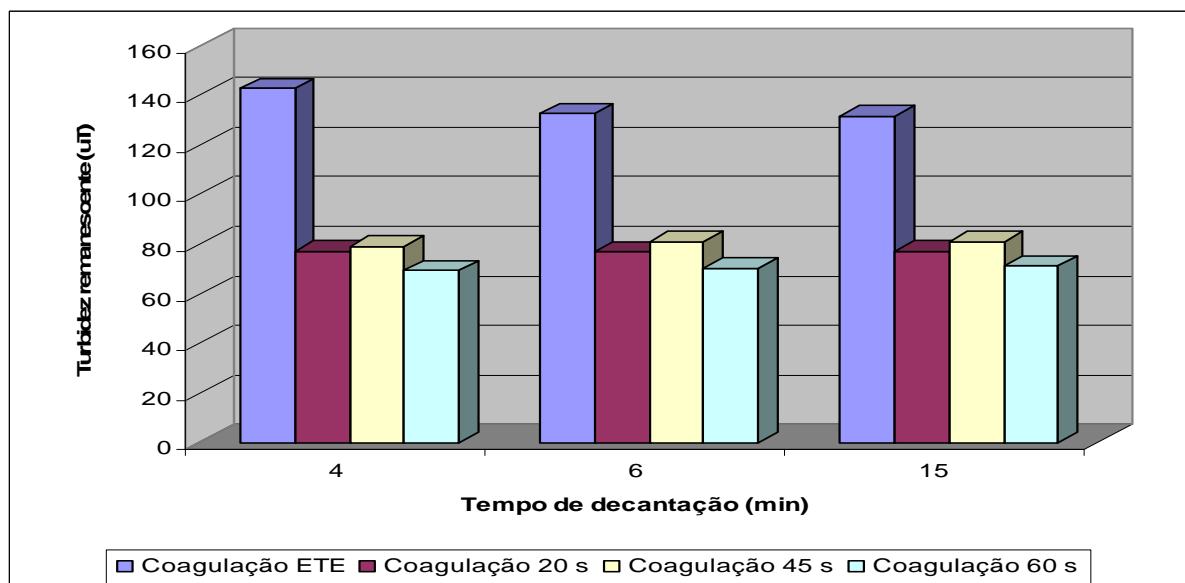


Figura 31 – Variação de turbidez remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em *jar test*, com gradiente de velocidade de 1.000 s^{-1} e turbidez do esgoto bruto de 265 mg/L .

Na Figura 32, estão apresentados os resultados onde foram aplicados gradientes de velocidade de 800 s^{-1} , para o esgoto coagulado em *jar test*, em comparação com o coagulado na estação. Os resultados de turbidez remanescente, para diferentes tempos de decantação, tanto para o esgoto coagulado em *jar test* como na estação, apresentaram resultados que se aproximaram mais entre si. Na Tabela 22, estão apresentadas as diferenças em porcentagem da turbidez remanescente de bancada em relação à ETE, para diferentes tempos de decantação.

Com o tempo de coagulação de 20 segundos e gradiente de velocidade de 600 s^{-1} , os resultados de turbidez confirmaram a representatividade do ensaio em *jar test* com a ETE - Goiânia. Na Figura 33, encontram-se os valores de turbidez remanescente para diferentes tempos de decantação desse ensaio, enquanto na Tabela 16, estão apresentadas as diferenças em percentuais do esgoto coagulado em *jar test* em relação ao coagulado na estação. No tempo de coagulação de 20 segundos, verificam-se as menores porcentagens entre os resultados de bancada e a estação.

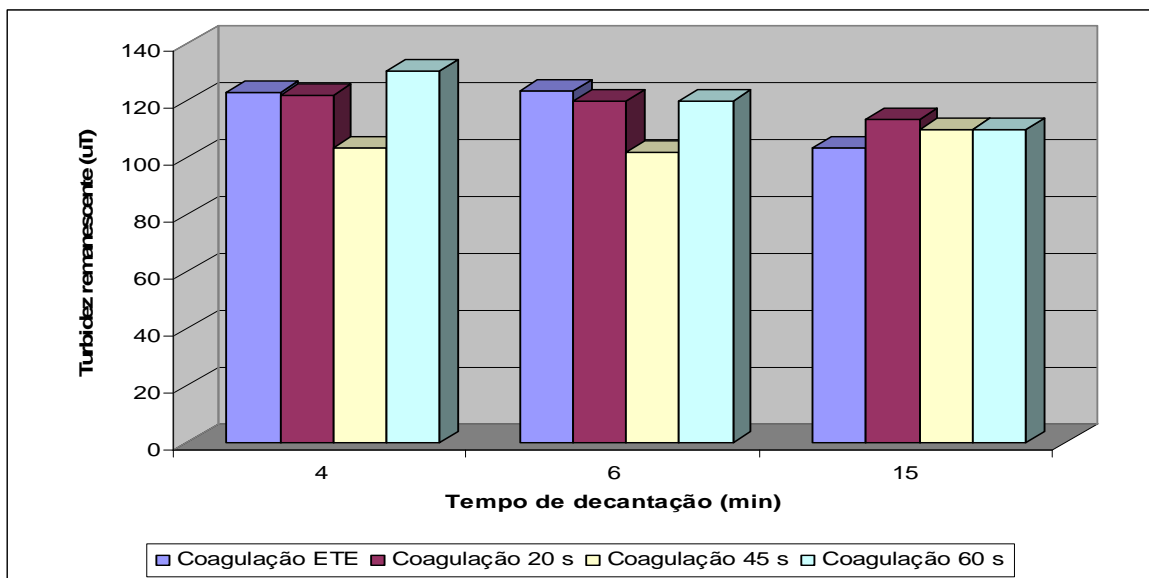


Figura 32 – Variação de turbidez remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em *jar test*, com gradiente de velocidade de 800 s^{-1} e turbidez do esgoto bruto de 236 mg/L .

Tabela 22 - Diferença em porcentagem de turbidez entre o esgoto coagulado no *jar test* em relação ao coagulado na ETE em diferentes tempos de decantação para o gradiente de 800 s^{-1} .

| Tempo de decantação (min) | % da diferença de turbidez entre o esgoto coagulado na <i>jar test</i> em relação à ETE | | |
|---------------------------|---|-------------------|-------------------|
| | Coagulado em 20 s | Coagulado em 45 s | Coagulado em 60 s |
| 4 | -1 | -16 | 6 |
| 6 | -3 | -17 | -3 |
| 15 | 10 | 6 | 6 |

Tabela 23 - Diferença em porcentagem de turbidez entre o esgoto coagulado no *jar test* em relação ao coagulado na ETE em diferentes tempos de decantação para o gradiente de 600 s^{-1} .

| Tempo de decantação (min) | % da diferença de turbidez entre o esgoto coagulado na <i>jar test</i> em relação à ETE | | |
|---------------------------|---|-------------------|-------------------|
| | Coagulado em 20 s | Coagulado em 45 s | Coagulado em 60 s |
| 4 | 4 | -21 | -11 |
| 6 | -2 | -20 | -21 |
| 15 | 6 | -3 | -1 |

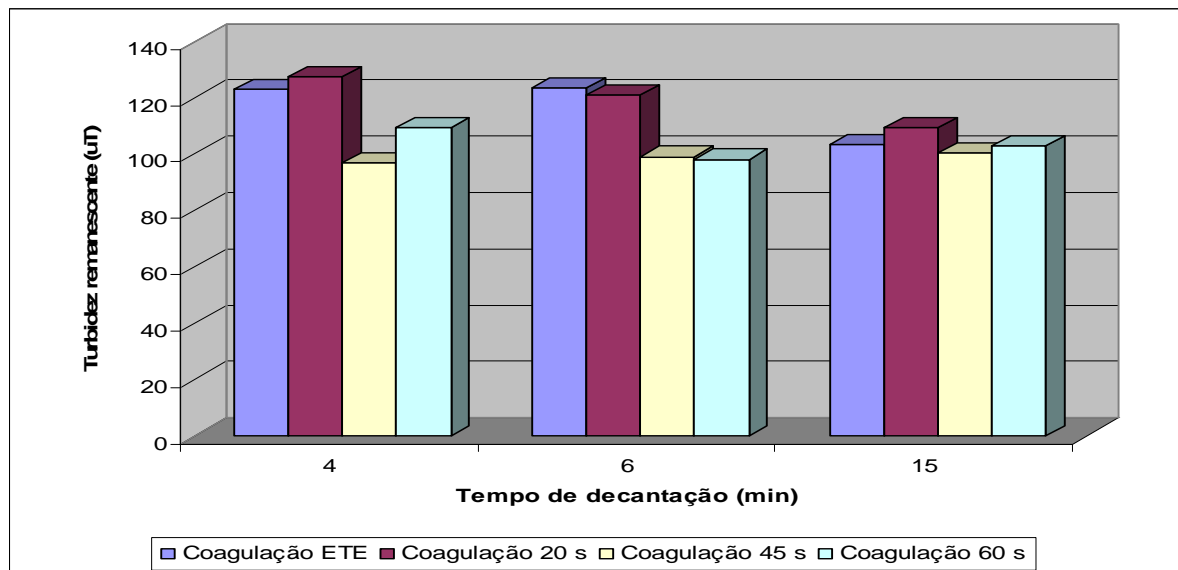


Figura 33 – Variação de turbidez remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em *jar test*, com gradiente de velocidade de 600 s^{-1} e turbidez do esgoto bruto de 236 mg/L .

O tempo de coagulação de 20 segundos e gradiente de velocidade de 600 s^{-1} foram as condições selecionadas para representar a estação. Em novos ensaios (Figura 34), verificou que os resultados de turbidez remanescente do esgoto coagulado na estação e em *jar test*, obtiveram pequena diferença, para diferentes tempos de decantação.

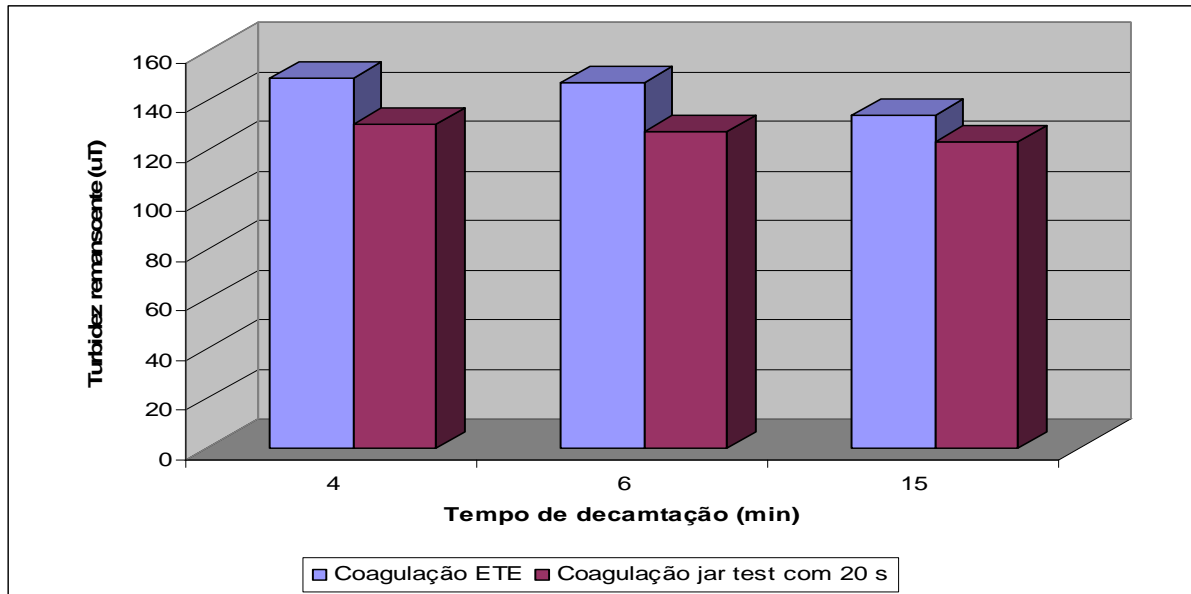


Figura 34 – Variação de turbidez remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em *jar test*, com gradiente de velocidade de 600 s^{-1} e turbidez do esgoto bruto de 236 mg/L .

O resultado de DBO remanescente, com tempo de decantação de 15 minutos, obteve diferença de 8%, entre os resultados da estação e o *jar test*. Na Figura 35 podem ser visualizados os resultados da estação e de bancada.

Os valores de DQO remanescente encontradas na estação ficaram com valores superiores ao do ensaio de *jar test* (Figura 36).

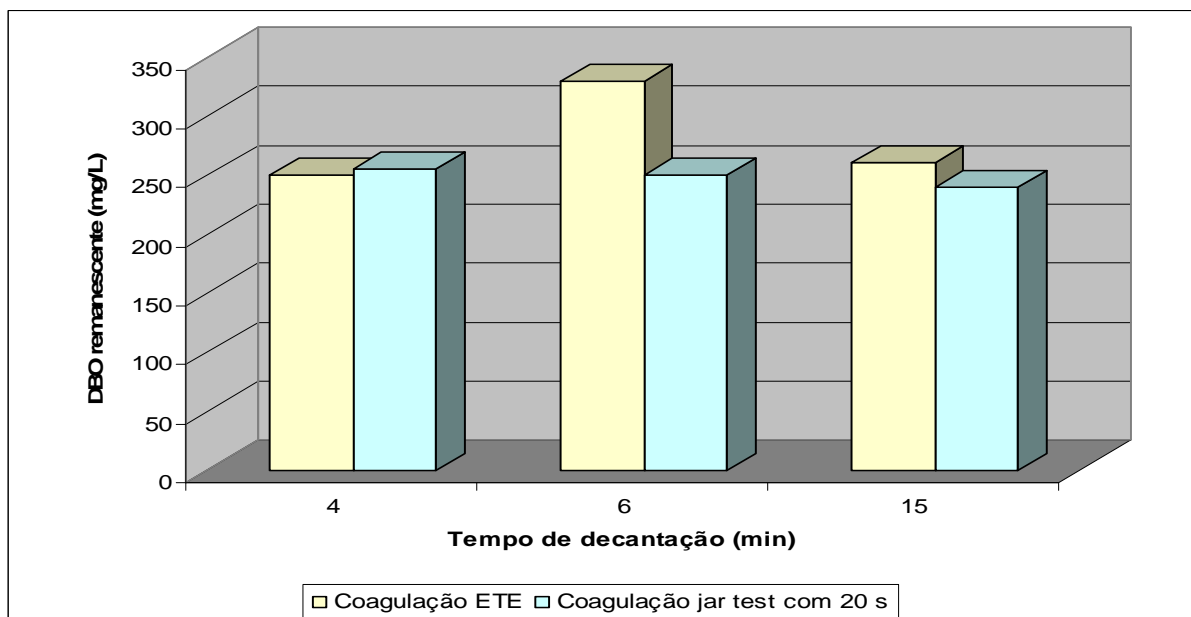


Figura 35 – Variação de DBO remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em *jar test*, com gradiente de velocidade de 600 s^{-1} e DBO do esgoto bruto de 360 mg/L .

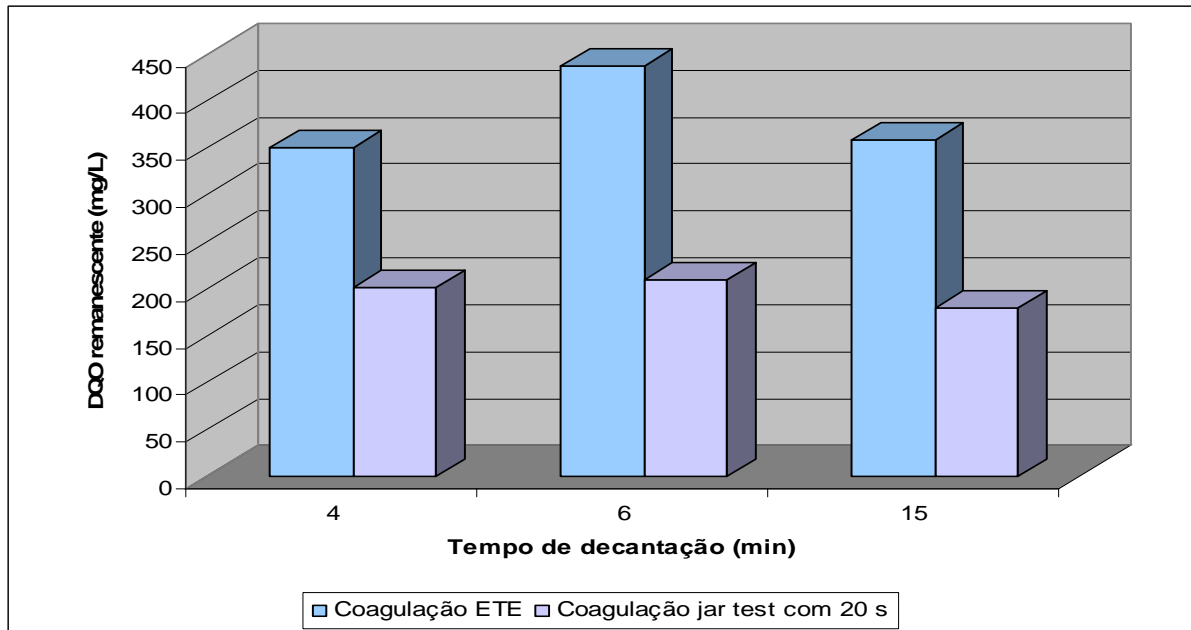


Figura 36 – Variação de DQO remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em *jar test*, com gradiente de velocidade de 600 s^{-1} e DQO do esgoto bruto de 455 mg/L .

A variação de SST remanescente entre o esgoto coagulado na estação e em bancada ficou maior para o tempo de decantação de seis minutos (Figura 37), enquanto para o tempo de 15 minutos, o resultado da estação ficou 18% maior que o do *jar test*.

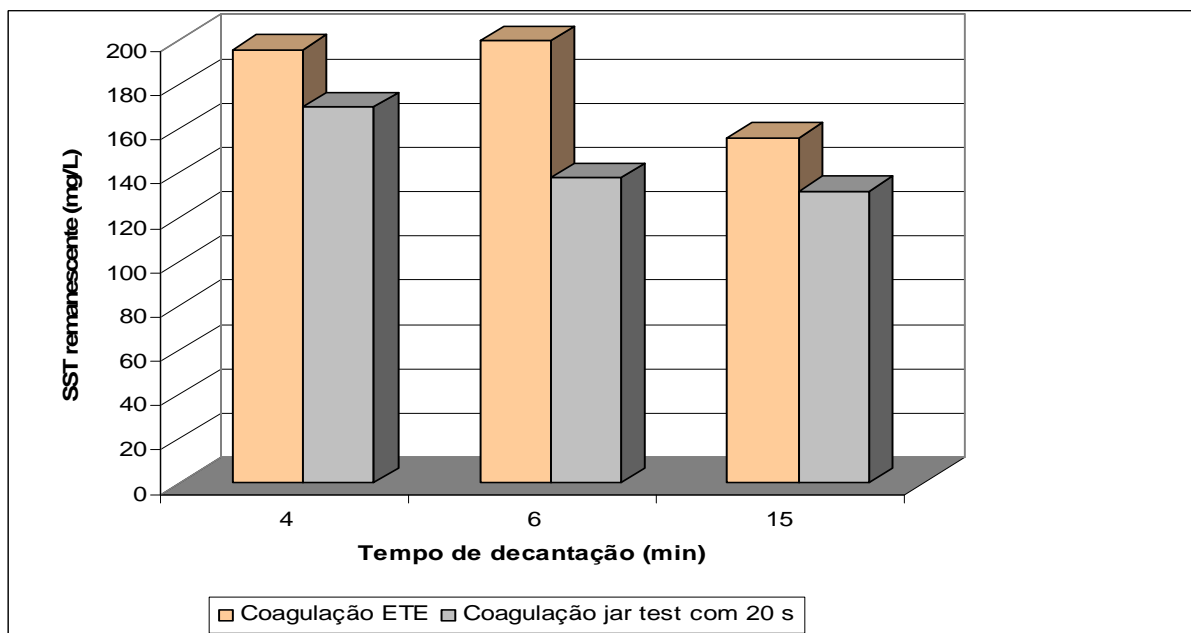


Figura 37 – Variação de SST remanescente ao longo do tempo de decantação para o esgoto coagulado na estação e em *jar test*, com gradiente de velocidade de 600 s^{-1} e SST do esgoto bruto de 452 mg/L .

Na Tabela 24, encontram-se os tempos reais e os representativos da estação, bem como os gradientes de velocidade encontrados em *jar test* que mais representaram a ETE – Goiânia, para a opção 2.

Tabela 24 – Tempos reais da ETE – Goiânia, e tempos representativos, com os respectivos gradientes de velocidade, encontrado em *jar test* para a opção 2 de aplicação de produtos químicos.

| Processo | Tempo real | Tempo representativo | Gradiente de velocidade (s ⁻¹) |
|-----------------------|--------------|----------------------|--|
| Tempo de coagulação | 56 min 4 s | 20 s | 600 |
| Tempo de floculação | 5 min e 30 s | 3 min e 30 s | 15 |
| Tempo de sedimentação | 30 min | 30 min | 0 |

4.2.3 Definição dos pontos ótimos de aplicação de produtos químicos no esgoto bruto da ETE – Goiânia

A opção 2, aplicação de sulfato férrico imediatamente a montante do ressalto hidráulico da calha *parshall* e polieletrólito 5 m a jusante dessa, apresentou as melhores eficiências de remoção de DBO, DQO e SST. Portanto, a opção 2 foi escolhida para realização de estimativa das melhores dosagens de sulfato férrico e polieletrólito aniônico. Na Tabela 25, estão apresentados os resultados das eficiências de remoção dos parâmetros analisados e as médias das eficiências encontradas em *jar test* para as opções 1 e 2. Observa-se também na Tabela 25, que a opção 2 obteve eficiência de remoção de SST próxima ao requerido no projeto, porém a remoções de DBO ficaram bem abaixo para as duas opções de dosagem de produtos químicos.

Tabela 25 – Eficiências de remoções dos parâmetros turbidez, DBO, DQO e SST, encontradas me *jar test* para as opções 1 e 2 de aplicação de produtos químicos.

| Parâmetros | Eficiência de remoção (%) | |
|------------|---------------------------|---------|
| | Opção 1 | Opção 2 |
| Turbidez | 67 | 62 |
| DBO | 31 | 33 |
| DQO | 35 | 61 |
| SST | 56 | 70 |

4.2.4 Avaliação das melhores dosagens de coagulante e auxiliar de coagulação para o esgoto da ETE – Goiânia

4.2.4.1 Resultados da avaliação da melhor dosagem de produtos químicos para o esgoto classe 1 de *Cluster*

Quando se aplicou uma variação de dosagem de sulfato férrico, sem a aplicação de polieletrólito aniônico, utilizando a turbidez como parâmetro referência, foi obtido as dosagens de 25 e 28 mg/L, como sendo as melhores. Na Figura 38, pode-se observar que as três últimas dosagens apresentaram valores similares de turbidez remanescente, mostrando que a melhor dosagem encontra-se nessa faixa.

Foi realizado um novo ensaio, no qual a dosagem do polieletrólito foi variada para as duas melhores dosagens de sulfato férrico. Na Figura 39, apresentam-se os resultados de turbidez remanescente para esse ensaio, tendo-se obtido resultados similares para quase todas as dosagens com tempo de decantação de 30 minutos.

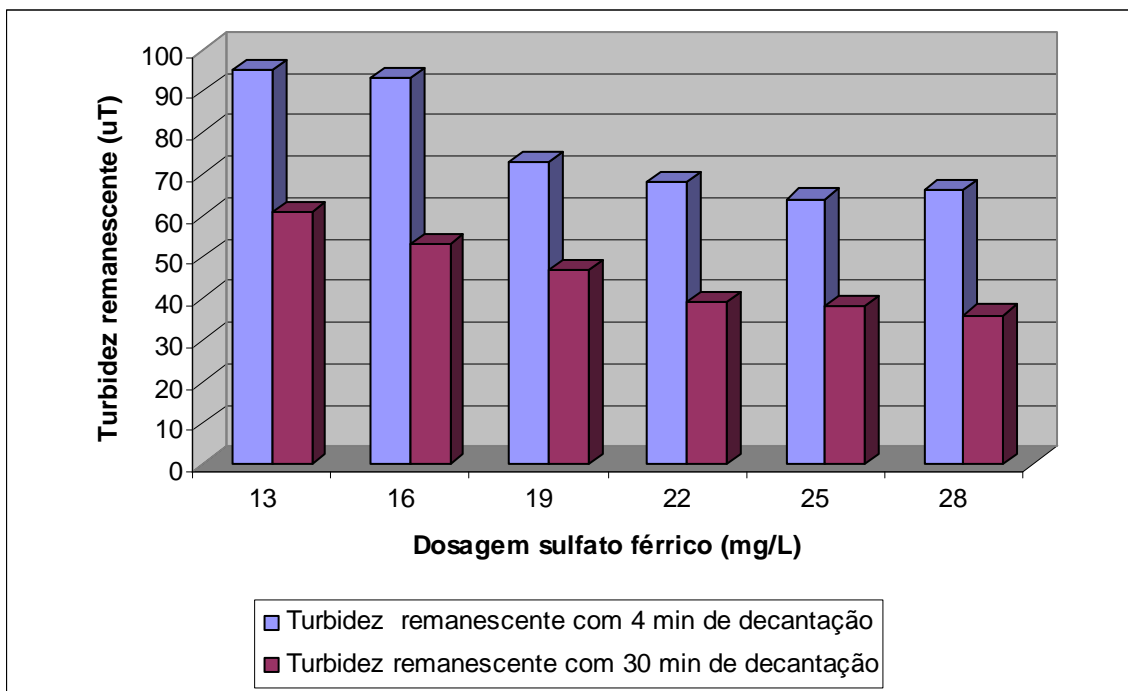


Figura 38 – Turbidez remanescente para diferentes dosagens de sulfato férrico para os tempos de decantação de quatro e 30 minutos.

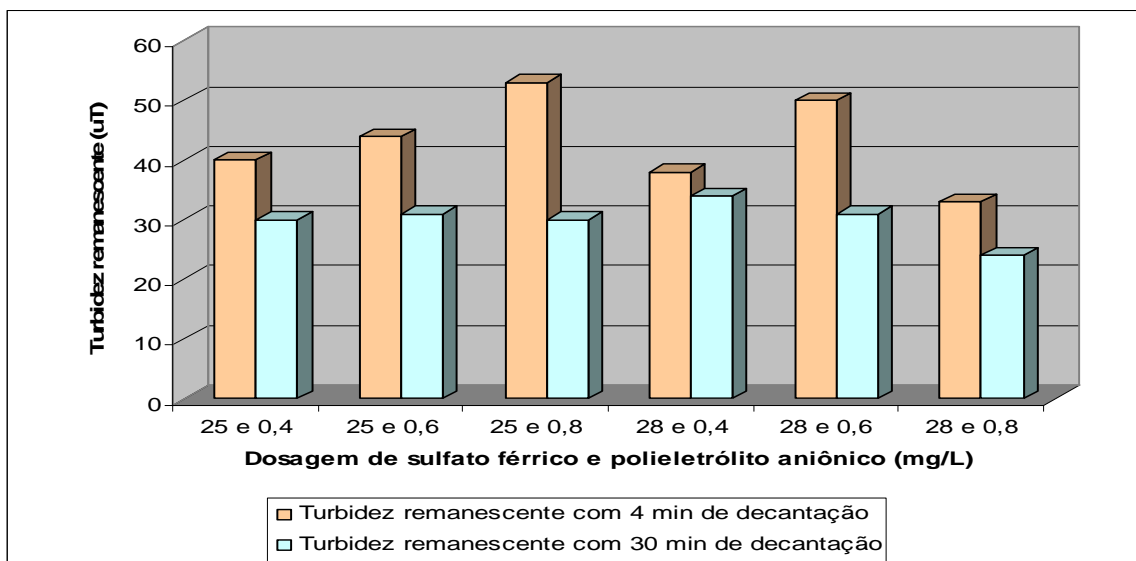


Figura 39 – Turbidez remanescente para diferentes dosagens de sulfato férrico e polieletrólito aniônico para tempo de decantação de quatro e 30 minutos.

Os resultados de DBO remanescente, apresentados na Figura 40, mostram uma variação da DBO em relação às variações de dosagens. Mesmo nos dois piores resultados que foram as dosagens de 25 mg/L de sulfato férrico com 0,4 e com 0,8 mg/L de polieletrólito obtiveram eficiências de remoções acima de 50%.

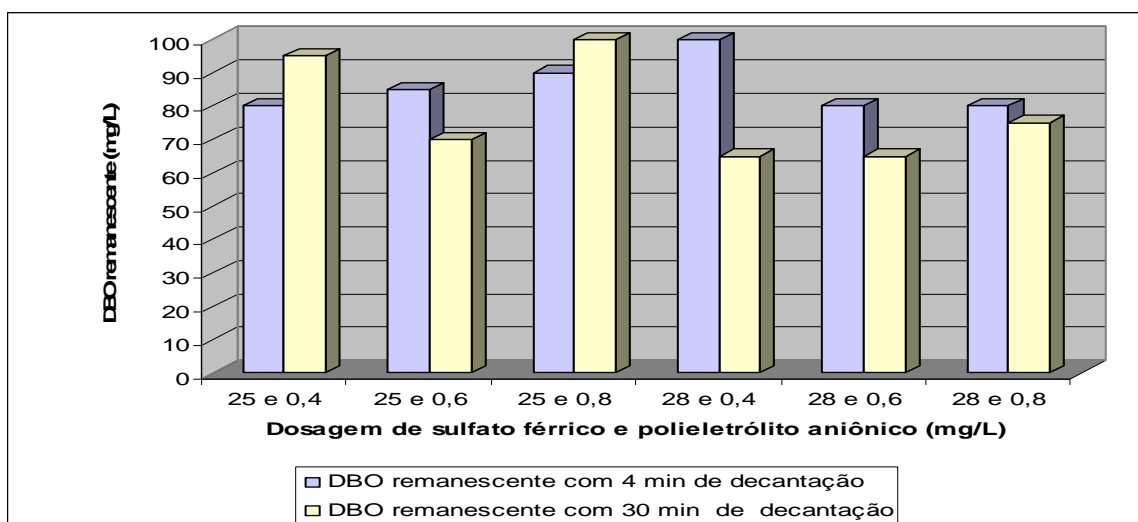


Figura 40 - DBO remanescente para diferentes dosagens de sulfato férrico e polieletrólito aniônico para tempo de decantação de quatro e 30 minutos.

Os valores de DQO remanescente para as variações de dosagens de sulfato férrico e polieletrólito ficaram estáveis para os tempos de decantação de quatro e 30 minutos (Figura 41.)

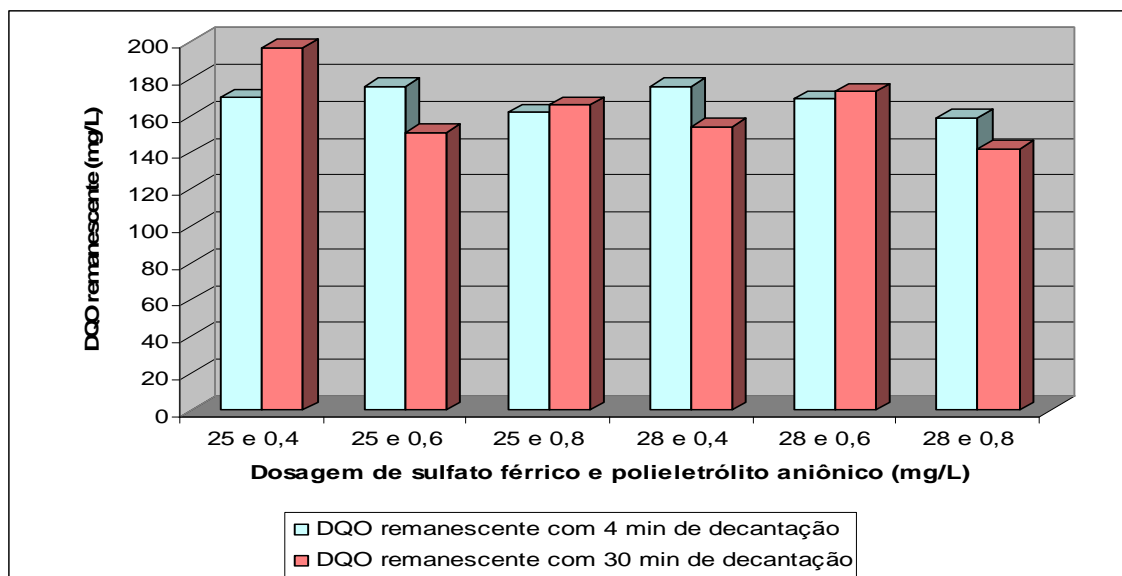


Figura 41 - DQO remanescente para diferentes dosagens de sulfato férrico e polieletrólito aniônico para tempo de decantação de quatro e 30 minutos.

Os resultados de SST remanescente ficaram com valores estáveis e baixos para as variações de dosagens de produtos químicos, para a classe 1 de esgoto bruto. Na Figura 42 estão apresentados os valores encontrados.

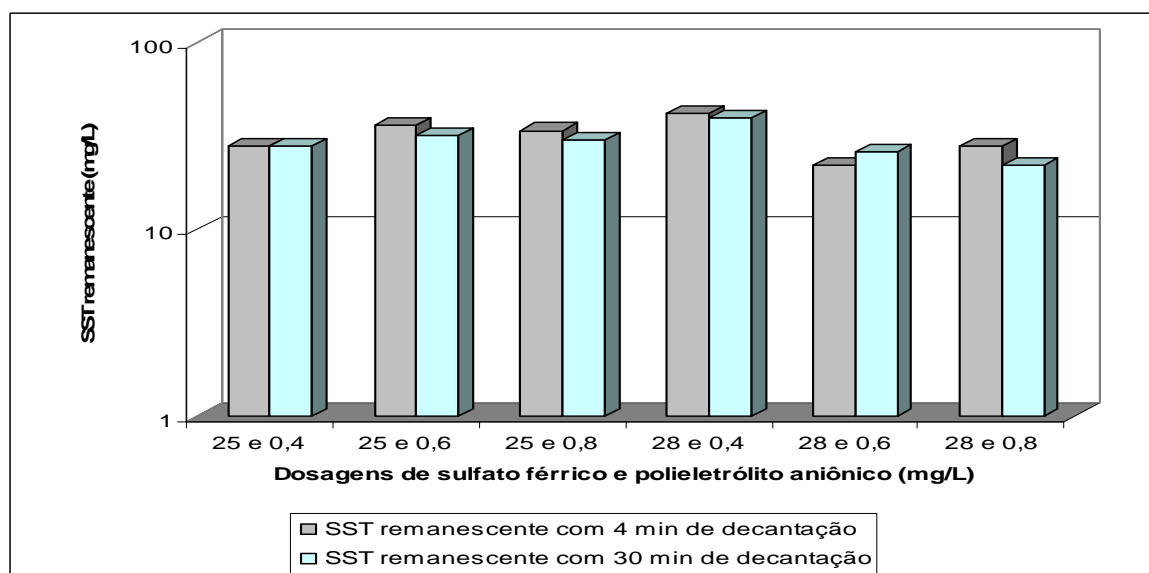


Figura 42 - SST remanescente para diferentes dosagens de sulfato férrico e polieletrólito aniônico para tempo de decantação de quatro e 30 minutos.

O esgoto bruto da ETE – Goiânia, classe 1, apresentou bons resultados de remoções dos parâmetros com a aplicação de produtos químicos. Os resultados de DBO e SST remanescente, para todas as dosagens, atenderam ao estabelecido no projeto da estação.

A dosagem otimizada para o esgoto classe 1 de *Cluster* foi 25 mg/L de sulfato férrico e 0,4 mg/L de polieletrólito aniônico (Tabela 26).

Tabela 26 – Eficiências de remoções de turbidez, DBO, DQO e SST para dosagens de 25 e 28 mg/L de sulfato férrico, e dosagens de 0,4; 0,6 e 0,8 mg/L de polieletrólito aniônico, aplicadas no esgoto bruto classe 1 da ETE – Goiânia.

| Dosagens (mg/L) | | Eficiência de remoção (%) | | | |
|-----------------|-------------------------|---------------------------|-----|-----|-----|
| Sulfato férrico | Polieletrólito aniônico | Turbidez | DBO | DQO | SST |
| 25 | 0,4 | 84 | 68 | 58 | 84 |
| 25 | 0,6 | 84 | 77 | 68 | 81 |
| 25 | 0,8 | 84 | 67 | 64 | 82 |
| 28 | 0,4 | 82 | 78 | 67 | 76 |
| 28 | 0,6 | 84 | 78 | 63 | 85 |
| 28 | 0,8 | 88 | 75 | 70 | 87 |

4.2.4.2 Resultados da avaliação da melhor dosagem de produtos químicos para esgoto classe 2 de *cluster*

Os resultados de turbidez remanescente das variações de dosagens de sulfato férrico no esgoto bruto tipo classe 2 da ETE – Goiânia, que obtiveram os melhores resultados, foram as dosagens de 34 e 37 mg/L (Figura 43). Porém, os resultados de turbidez não apresentaram grandes variações, principalmente com 30 minutos de decantação.

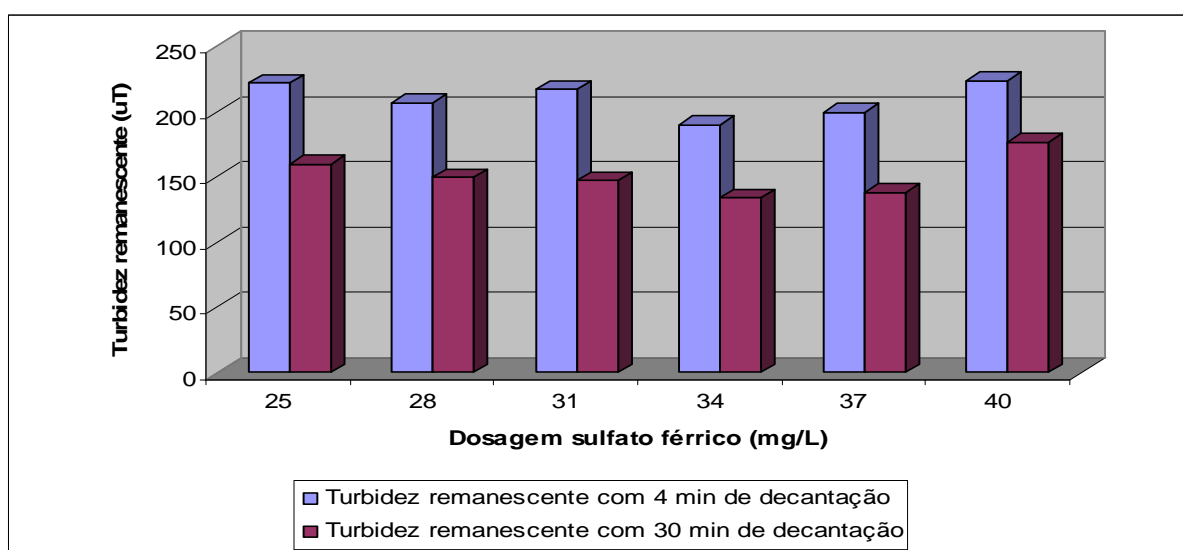


Figura 43 - Turbidez remanescente para diferentes dosagens de sulfato férrico e polieletrólito aniônico para tempo de decantação de 4 e 30 minutos.

Quando aplicadas as dosagens de 34 e 37 mg/l, com as variações de dosagem de polieletrólito, no esgoto bruto da ETE – Goiânia, os resultados de turbidez remanescente apresentaram-se estáveis para os quatros últimos pares de dosagens, conforme apresentado na Figura 44.

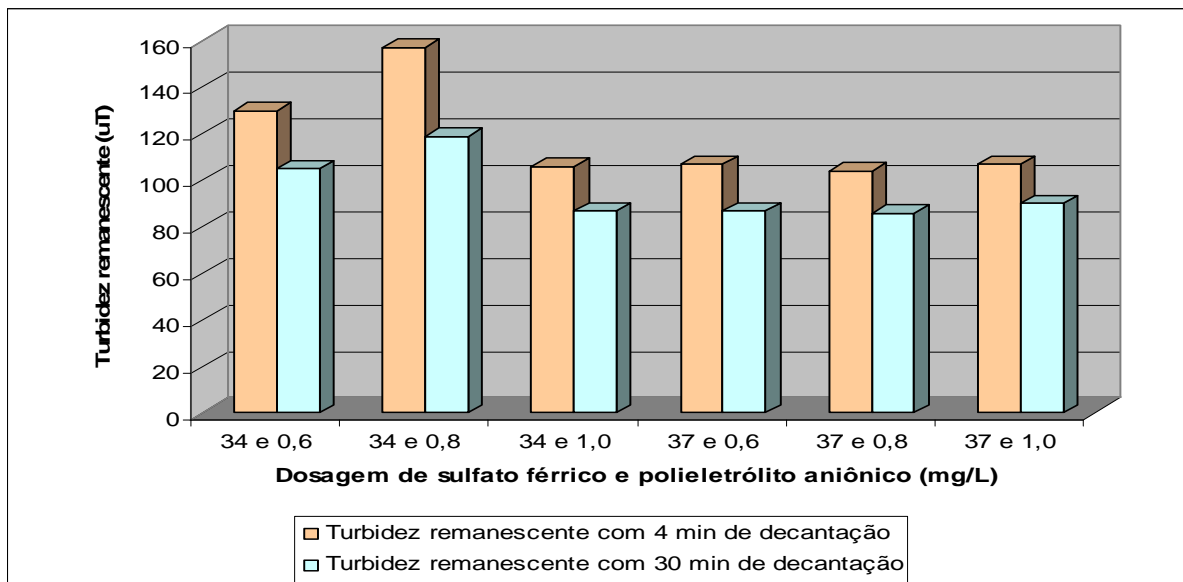


Figura 44 – Turbidez remanescente para diferentes dosagens de sulfato férrico e polieletrólito aniônico para os tempos de decantação de quatro e 30 minutos.

Os valores de DBO remanescente, após a aplicação de produtos químicos no esgoto classe 2, também apresentaram resultados estáveis, com exceção das dosagens de 34 e 1,0 mg/L e 37 e 0,6 mg/L, de sulfato férrico e polieletrólito respectivamente, para o tempo de decantação de 30 minutos (Figura 45). Os resultados de remoções de DQO remanescente, após aplicação de produtos químicos ficaram com baixa eficiência de remoção (Figura 46), enquanto que os resultados de SST remanescente ficaram estáveis ao longo das variações das dosagens de produtos químicos (Figura 47).

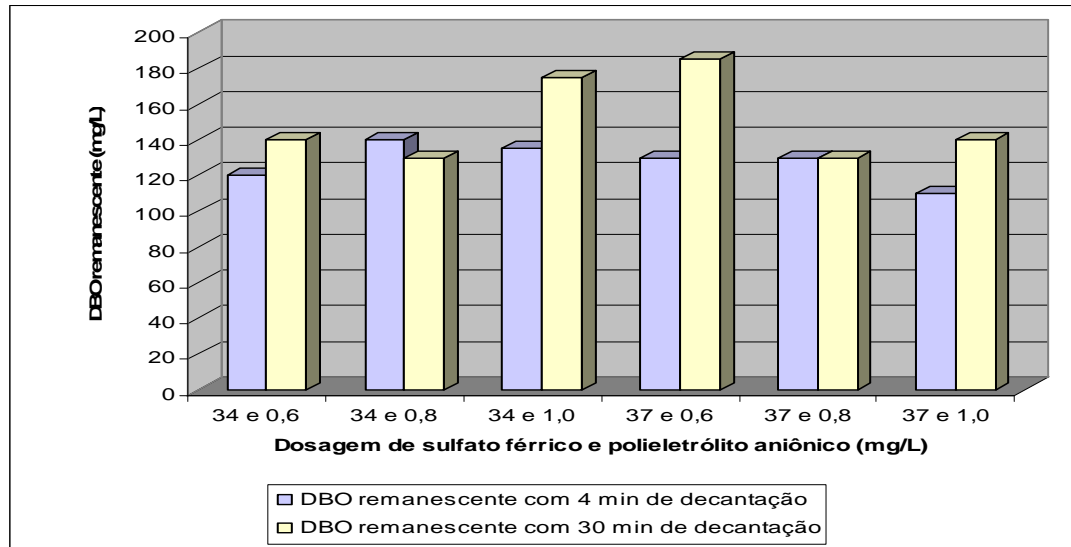


Figura 45 – DBO remanescente para diferentes dosagens de sulfato férrico e polieletrólito aniônico para tempo de decantação de quatro e 30 minutos.

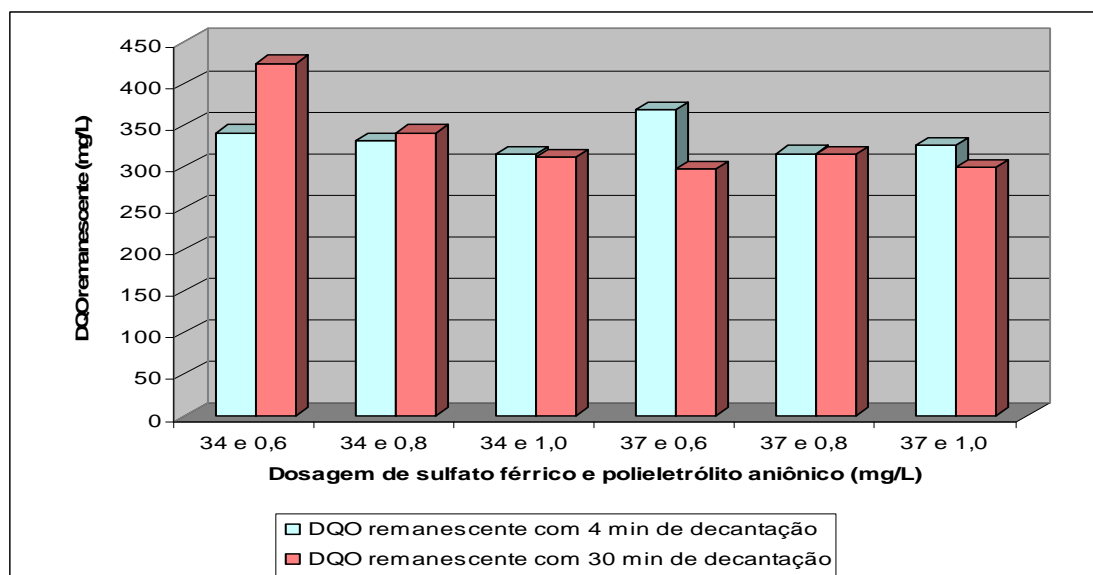


Figura 46 - DQO remanescente para diferentes dosagens de sulfato férrico e polieletrólito aniônico para tempo de decantação de quatro e 30 minutos.

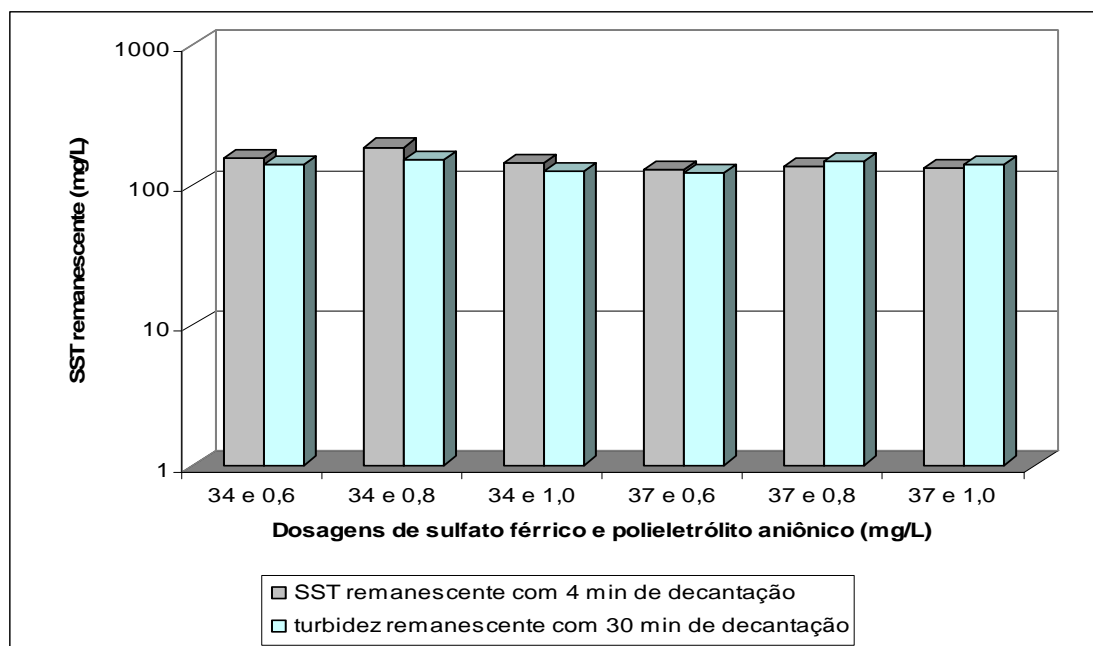


Figura 47 – SST remanescente para diferentes dosagens de sulfato férrico e polieletrólito aniônico para tempo de decantação de quatro e 30 minutos.

A dosagem sulfato férrico e polieletrólito aniônico otimizada para esgoto classe 2, foram 37 e 0,8 mg/L (Tabela 27). O resultado de DBO remanescente ficou praticamente igual ao preconizado no projeto da estação, porém o SST ficou abaixo.

Tabela 27 – Eficiências de remoções de turbidez, DBO, DQO e SST para dosagens de 34 e 37 mg/L de sulfato férrico, e dosagens de 0,6; 0,8 e 1,0 mg/L de polieletrólito aniônico, aplicadas no esgoto bruto classe 2 da ETE – Goiânia.

| Dosagens (mg/L) | | Eficiência de remoção (%) | | | |
|-----------------|-------------------------|---------------------------|-----|-----|-----|
| Sulfato férrico | Polieletrólito aniônico | Turbidez | DBO | DQO | SST |
| 34 | 0,6 | 70 | 45 | 30 | 70 |
| 34 | 0,8 | 66 | 49 | 23 | 68 |
| 34 | 1,0 | 75 | 31 | 29 | 74 |
| 37 | 0,6 | 75 | 27 | 32 | 75 |
| 37 | 0,8 | 75 | 49 | 28 | 69 |
| 37 | 1,0 | 74 | 45 | 32 | 71 |

4.2.5 Levantamento de custos das dosagens de produtos químicos na ETE - Goiânia

Os custos das dosagens propostas de sulfato férrico e polieletrólito aniônico ficaram praticamente iguais aos custos praticados atualmente (Tabela 28 e 29). As dosagens sugeridas devem ser aplicadas na estação, utilizando a turbidez como referência da classe do

esgoto para variação das dosagens e, posteriormente, deve-se verificar os resultados alcançados em relação aos encontrados atualmente. Acredita-se que as dosagens propostas trarão uma estabilidade horária maior da eficiência de remoção de SST e DBO para a ETE - Goiânia, pois as dosagens de produtos químicos serão definidas em relação à turbidez do esgoto bruto, e não apenas a uma faixa de horário. Com a dosagem única praticada atualmente na estação, observa-se que em alguns horários consegue-se ver flocos bem grandes e em outros horários eles são imperceptíveis.

Tabela 28 – Custos da aplicação de produtos químicos no esgoto bruto, atualmente, praticados na estação.

| Horário | Dosagem (mg/L) | | Custo/m ³ de esgoto tratado (R\$) |
|---------|-----------------|-------------------------|--|
| | Sulfato férrico | Polieletrólito aniônico | |
| 24 h | 30 | 0,8 | 0,036 |

Tabela 29 – Simulação de custos da aplicação de produtos químicos no esgoto bruto, com variação de dosagens de acordo com a classe 1 e 2 de *cluster*.

| Classe de esgoto | Número médiodo horas/classe/dia | Dosagem (mg/L) | | Custo/m ³ de esgoto tratado (R\$) |
|------------------|---------------------------------|-----------------|-------------------------|--|
| | | Sulfato férrico | Polieletrólito aniônico | |
| 1 | 10 | 25 | 0,4 | |
| 2 | 14 | 37 | 0,8 | 0,036 |

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- ♣ O gradeamento grosso atende as necessidades operacionais da ETE, em termos de remoção de sólidos grosseiros. Porém, apresenta dificuldade para a realização da limpeza manual. Uma das dificuldades da limpeza manual é que as barras horizontais de travamento propiciam o acúmulo de material fibroso, dificultando a limpeza. Estas barras, se colocadas, deveriam estar acima do nível máximo do esgoto do canal, ou possuírem seção transversal de maior dimensão que garanta a estabilidade necessária. A outra dificuldade deve-se ao fato da limpeza proposta ser manual, o mais adequado para um gradeamento nessa profundidade seria um sistema mecanizado de remoção de sólidos.
- ♣ O gradeamento fino não atende as necessidades operacionais da estação. Ocorrem entupimentos que provocam manutenções freqüentes em tubulações e bombas. Os estudos indicaram a necessidade de instalação de peneira com malha de 6 mm. No entanto, recomenda-se que as novas peneiras sejam mais robustas, para evitar danos estruturais, o que prejudica a operação da estação.
- ♣ O sistema de desarenação não atinge a eficiência necessária para uma boa operação da estação. O excesso de areia presente no lodo primário provoca desgastes em bombas e centrífugas. Além disso, foi verificado que o sistema de distribuição de vazão na caixa de areia estava em desacordo com o projeto hidráulico e com a literatura especializada. Este fato, possivelmente, contribuiu com a baixa eficiência de remoção de areia.
- ♣ Não foi possível otimizar a taxa de aplicação de ar na caixa de areia. Foram realizados testes preliminares com vazões de ar baixas e altas, sem resultado na variação da quantidade de areia removida. Recomenda-se que se faça novos ensaios da variação de vazão de ar na caixa, após a mudança da distribuição do esgoto afluente a essa unidade. O sistema de remoção de areia apresenta dispositivos que favorecem o entupimento. Recomenda-se a instalação de linhas diretas com curvas longas, sem barrilete e curvas de 90°.
- ♣ O melhor ponto de aplicação de coagulante é imediatamente a montante da calha *parshall*, e de polieletrólito a 5 m a jusante da mesma. Esse ponto proporcionou a mesma remoção de DBO, porém favoreceu uma remoção 20% maior de SST. No entanto, recomenda-se,

para as próximas pesquisas, uma avaliação da aplicação de sulfato férrico no início da caixa de areia após a otimização completa desta.

- ♣ O *jar test*, para simulação das condições da estação, é uma ferramenta confiável para a definição das dosagens de produtos químicos no esgoto. A simulação em *jar test* das condições de campo apresentou resultados maiores de DBO (8%) e de SST (18%).
- ♣ Os estudos de caracterização do esgoto bruto indicam, no mínimo, duas classes para aplicação de produtos químicos. A dosagem ótima para a classe 1, foi de 25 mg/L de sulfato férrico e 0,6 mg/L de polieletrólito aniônico, enquanto para a classe 2, as dosagens ótimas foram de 37 e 0,8 mg/L, respectivamente.
- ♣ Não se alcançou, ainda, a meta estabelecida em projeto para remoção de 50% de DBO e 80% de SST. Por outro lado, as dosagens propostas são mais específicas às características do esgoto bruto, frente ao estabelecido no projeto que eram de 10 a 40 mg/L de coagulante e de 0,2 a 2 mg/l de polieletrólito aniônico. Recomendam-se novos estudos na busca de atendimento às remoções de DBO e SST, preconizadas no projeto.
- ♣ O custo da dosagem proposta de produtos químicos para a ETE – Goiânia, em *jar test*, se apresentou similar ao aplicado atualmente na estação. A dosagem otimizada deve ser implementada para verificação dos seus resultados de remoção de SST e DBO, em relação aos atualmente encontrados.
- ♣ A utilização de equipamento de monitoramento de processo, como o analisador de SST ou monitor de coagulante, é indicada objetivando uma dosagem de produtos químicos de acordo com as características do esgoto que chega à estação. Mesmo com a análise de turbidez apresentando baixa previsão das condições do esgoto bruto, é uma ferramenta indicada para auxiliar nas dosagens de produtos químicos em esgoto, podendo ser, inclusive, um equipamento de bancada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, C. A.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Lodo de Esgotos: Tratamento e Disposição Final**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). 2001.

ANDREOLI, Cleverton Vitório (Coord.). **Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura**. PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Rio de Janeiro, 1999.

ANDRIOTTI, J. L. S., **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**, Editora da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, 2003. p.81-95,129-155.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004. Resíduos Sólidos: Classificação**. Rio de Janeiro, 2004a.

_____. **NBR 10.005. Procedimento para a Obtenção de Extrato Lixiviado em Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, 2004b.

_____. **NBR 10.005. Procedimento para a Obtenção do Extrato Solubilizado em Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, 2004c.

_____. **NBR 10.007. Amostragem de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, 2004d.

_____. **NBR 12.208. Projeto de Estações Elevatórias de Esgoto Sanitário**. Rio de Janeiro, 1992a.

_____. **NBR 12.209. Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário**. Rio de Janeiro, 1992b.

_____. **EB – 2.185. Grades de Barras retas, de Limpeza Manual**. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 13.160. Grade Fixa de Barras Curvas, com Limpeza Mecanizada**. Rio de Janeiro, 1994.

APHA;AWWA;WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21th Edition, Washington. Setembro de 2005.

AZEVEDO NETTO, J.M.; PERA, A. F.; MARTINS, J. A; HESPANHOL, I; RODRIGUES, J. M. C; NOGAMI, P. S; HESS, M. L; NINA; E. D; FAINZILBER, A; JULIANO, N. M. A; SILVA, C. C. A; POVINELLI, J; AZEVEDO, J. G. **Sistema de Esgotos Sanitários**. CETESB. São Paulo, 1977.

BETTIOL, Wagner; CAMARGO, A. de. **Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto**. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Jaguariúna, São Paulo, 2000.

BRANCO, Samuel Murgel. **Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária**. CETESB. São Paulo, 1986.

BRITTO, Evandro Rodrigues. **Introdução a Bilogia Sanitária**. ABES. Rio de Janeiro, RJ. 1994.

CAMPOS, J. P.; POVINELLI, J. **Coagulação e Flocculação: técnicas de abastecimento de tratamento de água**. São Paulo: CETESB, 1987.

CIPRIANI, M. J. I.; FILHO, S. S. F.; FERREIRA, W.; FERNANDES, A. N. **Avaliação do Comportamento do Coagulante Sulfato Férrico e do Cloreto Férrico na Tratabilidade de Águas Naturais**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande. Setembro, 2005.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 de março de 2005.

_____.CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 375 – Define sobre critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus subprodutos, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 29 de agosto de 2006.

SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **O que fazemos. Coleta e Tratamento de Esgotos. Tratamento de Esgotos**. Disponível em:< <http://www.sabep.com.br>>. Acesso em: 25 junho 2005.

CAESB - COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL. **Remoção de Resíduos das Estações de Tratamento de Esgoto de Brasília**. Brasília, DF, 2005.

DACACH, Nelson Gandur. **Tratamento Primário de Esgoto**. Rio de Janeiro: EDC, 1991.105 p.

DI BERNARDO Luiz; DANTAS A. Di Bernardo. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Rima, 2ª Edição, Volume 1. São Carlos, SP, 2005.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (E.P.A.). **Norma nº 40 CFR Part 503, Use and Disposal of Municipal Wastewater Sludge**. Washington, DC, USA. September de 1996.

FERNANDES, Carlos. **Medidores Pashall**. Disponível em: <www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Parshall.html>. Acesso em: 29/07/2007.

FERNANDES, Fernando (Coord.). **Manual Prático para Compostagem de Biossólidos**. PROSAB. Rio de Janeiro, RJ, 1999.

FIGUEIREDO, I. C.; JORDÃO, E. P.; JUNIOR, V. I.; DEZOTTI, M.; AZEVEDO, J. P. S. **Tratamento Primário Quimicamente Assistido (CEPT) e Decantação Primária Convencional: Quando Aplicar?** 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande. Setembro, 2005.

HAIR-JUNIOR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise Multivariada de Dados**. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HANGOUE, J.P; PUJOL, R; BOURGOGNE, P; ROBERT, D; LANSALOT, G. **Optimising Chemical Dosage in Primary Settling Tanks**. 12th Gothenburg Symposium. Ljubljana, Slovenia, 2007.

JOHNSON, R. A; WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. 3. Ed. New Jersey: Prentice Hall Inc., 1992.

JORDÃO, E. Pacheco; PESSÔA C. Arruda. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

MARAIS, Gerrit V. R.; HAANDEL, Adrianus C. van. **Design of grit channels controlled by Parshall flumes**. Water Science and Technology, London, v. 33, n. 3, 1996.

METCALF e EDDY. Inc. **Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse**. 3rd. New York: McGraw-Will, 1991.

PEREIRA, Clodoveu Reis. **Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Gerados na Estação de Tratamento de Esgoto de Anápolis**. Universidade Federal de Goiás (UFG). Goiânia – GO, 2007.

RATNAWEERA, Harsha. **Coagulant Dosing Control – A Review**. 11th Gothenburg Symposium. Orlando, Florida, USA, 2004. 43.

RESAMPLING (statistics). **Wikipedia, the free encyclopedia**, 16 July 2007. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/Resampling_statistics#Jackknife. Acesso em: 17 ago. 2007.

RESENDE, Mercia Lucas. **Definição da Dosagem de Cloreto Férrico e Polímero por Jar Test para Utilização na Estação de Tratamento de Esgotos de Goiânia**. Universidade Federal de Goiás (UFG). Goiânia – GO. 2003.

RICCITELLI, M.; SEMURA, K. A.; ZELMIKAITIS, L. **Avaliação da Aplicação da Tecnologia de Tratamento Primário Intensificado Quimicamente na ETES da Região Metropolitana de São Paulo CEPT (Chemically Enhanced Primary Treatment)**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande. Setembro, 2005.

SANEAGO – Saneamento de Goiás S/A. **Relatório de Processo da Estação de Tratamento de Esgotos de Goiânia**. Projeto Executivo, volume 2 - INTERPLAN. Goiânia – GO. Junho, 2005a.

_____. **Estação de Tratamento de Esgotos de Goiânia: Tratamento Primário – Manual de Procedimentos Básicos de Operação**. Rio de Janeiro. Dezembro, 2005b.

_____. **Relatório Sobre Treinamento em Estações de Tratamento de Esgotos da Califórnia – EUA.** Goiânia, 2003.

_____. **Relatórios Mensais de Operação da ETE de Goiânia.** Goiânia, 2005c.

_____. **Relatórios Mensais de Operação da ETE de Goiânia.** Goiânia, 2006.

SANTOS, H. Felício; TSUTIYA, M. Tomoyuki. **Aproveitamento e Disposição Final do Lodo de Estações de Tratamento do Estado de São Paulo.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, v.2, n. 2, abr/jun 1997.

SILVA, M. Francisca; SILVA, K. Morais. **Avaliação de Coagulantes para Tratamento Primário Quimicamente Assistido – ETE Goiânia.** 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande. Setembro, 2005.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Visão Geral da Prestação dos Serviços de Água e Esgotos.** Brasília: Ministério das Cidades. 2006.

SPERLING, Marcos Von. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2ª Edição, Volume 1. Belo Horizonte – MG, 1996a.

SPERLING, Marcos Von. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias - Lagoas de Estabilização.** Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Volume 3. Belo Horizonte - MG, 1996b.

SPERLING, Marcos Von. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Lodos Ativados.** Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Volume 4 Belo Horizonte - MG, 1997.

SAN ANNA, Marisa Pignataro. **Estação de Tratamento de Esgotos Goiânia,** 2005.

TEIXEIRA, A. R.; ALVES, C. V. P.; AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. **Caracterização e Avaliação de Tratabilidade do Material Retido em Unidade de Peneiramento Forçado de Esgoto Bruto.** 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande. Setembro, 2005.

TSUKAMOTO, Ricardo Y. **Tratamento Primário Avançado: O Paradigma Moderno do Tratamento de Esgotos.** São Paulo. 2002.

WEF - Water Environment Federation. **Preliminary Treatment for Wastewater Facilities //Manual of Practice,** 1992.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)