



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

MÁRCIA VALÉRIA PORTO DE OLIVEIRA CUNHA

**IMPORTÂNCIA DA FREQUÊNCIA DE DESCARTE DE LODO  
NA EFICIÊNCIA DOS DECANTADORES DE ESTAÇÕES DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA EM CICLO COMPLETO**

**Belém**

**2004**

MÁRCIA VALÉRIA PORTO DE OLIVEIRA CUNHA

**IMPORTÂNCIA DA FREQUÊNCIA DE DESCARTE DE LODO  
NA EFICIÊNCIA DOS DECANTADORES DE ESTAÇÕES DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA EM CICLO COMPLETO**

**Dissertação apresentada como requisito parcial  
para obtenção do título de Mestre em Engenharia  
Civil: Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Civil, Universidade Federal do Pará.**

**Orientador: Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira**

**Belém**

**2004**

MÁRCIA VALÉRIA PORTO DE OLIVEIRA CUNHA

**IMPORTÂNCIA DA FREQUÊNCIA DE DESCARTE DE LODO  
NA EFICIÊNCIA DOS DECANTADORES DE ESTAÇÕES DE  
TRATAMENTO DE ÁGUA EM CICLO COMPLETO**

**Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil:  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,  
Universidade Federal do Pará.**

Data de aprovação:

Banca Examinadora:

---

Prof. José Almir Rodrigues Pereira – Orientador

Dr. em Hidráulica e Saneamento

Universidade Federal do Pará

---

Prof<sup>o</sup> Neyson Martins Mendonça – Examinador externo

Dr. em Engenharia Hidráulica e Saneamento (S. Carlos)

Instituto Evandro Chagas

---

Prof<sup>a</sup> Luiza Carla Girard Teixeira Machado – Examinadora

Dr<sup>a</sup> em Ciências: Desenvolvimento Sócio-Ambiental

Universidade Federal do Pará

---

Prof. Augusto César de M. Brasil – Examinador

Dr. em Engenharia Mecânica

## **DEDICATÓRIA**

Agradeço a Deus por ter colocado em minha vida pessoas tão especiais. Foram dessas pessoas que vieram a força, a compreensão, o amor e a confiança de que precisei para acreditar que no final tudo daria certo. Agradeço ao meu marido Adiel por seu amor e apoio incondicional; aos meus filhos – Gabriel, Bruna e Breno – que apesar da ausência sempre me recebiam com um sorriso no rosto e com “eu te amo mamãe” e aos meus pais – Lins e Clara, que nunca deixaram de acreditar e apoiar meus sonhos. Amo todos vocês.

## AGRADECIMENTOS

Sou grata com toda a minha essência:

A Deus que, com seu amor incondicional, iluminou cada passo do meu aprendizado;

À Virgem de Nazaré, que sempre que precisei colocou sobre mim suas mãos, aumentando a minha fé e acalmado meu coração;

Aos meus pais Lins e Clara, por me inculcarem os valores da educação, lealdade e honestidade;

As minhas irmãs Vanessa e Valena, cunhados (a) e sobrinho, pela torcida, apoio e carinho;

Ao meu marido Adiel, pelo carinho, amizade, companhia e apoio nos tantos momentos difíceis surgidos;

Aos meus filhos Gabriel, Bruna e Breno, por suportarem minhas angústias, falta de tempo e por acreditarem na minha força e coragem para superar os obstáculos;

Aos meus sogros Adiel e Marilúcia, pelo apoio e força constante;

À minha família (vovós Astrogilda e Elisa, tios, primos, etc.), tão numerosa que não há espaço para citar a todos; tão importante na minha vida que não há palavras para agradecer;

As primas Cláudia e Renata, por sempre estarem disponíveis para me ajudar;

Ao Prof. José Almir Rodrigues Pereira, pelos bons exemplos e por ter me possibilitado a oportunidade de aprender com seus ensinamentos;

À Lucy Anne, pela confiança e apoio durante a realização deste trabalho;

À Ellem e ao Fred, que iluminavam o ambiente de trabalho com bom-humor e alegria, agradeço pelo carinho manifestado quando mais precisei;

À Jaqueline e ao Valdinei, amigos de coração, agradeço pelas ajudas nunca negadas;

A todos os bolsistas do LCR, em especial a Lidiane, Amanda, Rose, Monique, Celine, David, Rodrigo, William, agradeço por todo carinho e apoio;

Ao Seu Cacildo, pela palavra sempre amiga;

À Luiza, pela amizade forte e sincera que me permitiu atravessar momentos críticos, sempre me encorajando a continuar; agradeço ainda pelas preciosas sugestões ao trabalho;

Aos Prof<sup>o</sup> Augusto Brasil (UFPA) e Cláudio Nahum Alves (UFPA), pelos ensinamentos fornecidos e pela maneira sempre gentil com que me atenderam;

Ao Prof. Valter Lúcio de Pádua por todo aprendizado e trocas de conhecimentos que tão carinhosamente repartiu comigo durante este trabalho;

Aos professores e colegas do mestrado, pela convivência querida, durante o curso;

À UFPA e particularmente ao PPGEC, pela oportunidade de realizar este Mestrado;

A todos meus superiores do CEFET/PA que me apoiaram para a realização desta pós-graduação, em especial a amiga Prof<sup>a</sup> Sueli Lage Miranda pela compreensão da importância deste trabalho;

À COSANPA, em especial ao Sr. Presidente Haroldo Bezerra, agradeço pela credibilidade, pelo subsídio, suporte técnico e disponibilização dos dados;

A todos os funcionários da ETA Bolonha, em especial ao Eng<sup>o</sup> Cláudio e ao laboratorista César, pelo apoio e carinho que recebi durante a realização deste trabalho;

A todas as pessoas não mencionadas, porém não esquecidas, que, de alguma maneira, contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

*“A impossibilidade de se conseguir algo, está no simples fato de acharmos que não somos capazes. Entender que tudo é possível só depende da gente”.*

*Autor: desconhecido*

## RESUMO

No trabalho foram avaliados três diferentes períodos de descarte do lodo armazenado nos decantadores da ETA Bolonha, com a finalidade de recomendar a rotina operacional que apresenta os melhores resultados na eficiência dos decantadores. Para isso o trabalho foi dividido em três fases experimentais, sendo que na fase 1 foi avaliada a eficiência da atual rotina operacional dos decantadores, que é de descarga total do lodo de 12 em 12 dias. Na fase 2 a rotina operacional foi alterada para descarga de lodo diária durante o tempo de 5 minutos, para que se pudesse atender as recomendações do projeto executivo; e quanto na fase 3 a rotina operacional foi novamente alterada, descarga de lodo de 5 em 5 dias durante o tempo de 5 minutos, em função de se obter melhores resultados de eficiência. Em todas as fases foram determinadas as variáveis sólidos suspensos totais, turbidez e cor aparente no afluente e efluente dos decantadores, bem como determinado a concentração de sólidos do lodo gerado nos decantadores e no sistema auxiliar de remoção de lodo da bandeja intermediária. Além disso, em todas as fases, foi quantificado o volume de lodo descartado e a produção mensal de sólidos gerados pelo lodo. Com a pesquisa foi possível observar que sob o ponto de vista de eficiência dos decantadores, a rotina operacional implementada na fase 2 (remoção diária do lodo) e na fase 3 (descargas de lodo a cada 5 dias) apresentaram resultados semelhantes, porém, com relação a geração de resíduos a rotina operacional implementada na fase 3 se mostrou mais adequada, já que nesta fase houve um decréscimo médio de 48% em relação a fase 1. Assim, recomenda-se que seja estudada a rotina implementada na fase 3 deste estudo em todos os seis decantadores da ETA Bolonha.

**Palavras-chave:** Tratamento de água, frequência, eficiência, lodo, descarte.



## ABSTRACT

In this work, different periods of discharge of the sludge stored in the decanters of the ETA Bolonha had been evaluated, with the purpose to recommend the operational routine that presents the best ones results in the efficiency of the decanters. The three experimental phases had been divided in three stages: being in phase 1 evaluated the efficiency of the current operation routine of the decanters what is the total discharge of sludge in 12 in 12 days. In phase 2, the operational routine was modified to a daily discharge during the time of 5 minutes and so it could take care of the recommendations of the executive project; by the other hand, in phase 3, the operational routine was modified again, discharge of sludge of 5 in 5 days during the time of 5 minutes, in order to getting better results of efficiency. In these three phases it was realized the control of total suspended solids, dimming and color in the effluent tributary and, as well as quantified and characterized the sludge generated in the decanters. With the research it was possible to observe that according to the point of view of efficiency of the decanters, the implemented operational routine in phase 3 (discharge of sludge to each 5 days) it was showed more adequate. By the way, it recommends that tests with other operational routines should be done in order to remove the sludge deposited in the decanters to diminish the losses of water of this operation. Moreover, it is important to study other ways to remove the deposited sludge in the intermediate tray of the decanter to prevent the accumulation of sludge on tray.

**Key words:** Treatment of water, decanters, efficiency, characterization, sludge, loss of water

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>14</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>16</b>
<b>LISTA DE ESQUEMAS .....</b>	<b>17</b>
<b>LISTA DE FOTOGRAFIAS .....</b>	<b>18</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS .....</b>	<b>20</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....</b>	<b>23</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>2. JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>29</b>
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1. GERAL .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2. ESPECÍFICOS.....</b>	<b>31</b>
<b>4. HIPÓTESE(S) .....</b>	<b>32</b>
<b>5. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>33</b>
<b>5.1. PROCESSOS E OPERAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....</b>	<b>33</b>
<b>5.2 TEORIA DA SEDIMENTAÇÃO .....</b>	<b>43</b>
<i>5.2.1 Sedimentação de Partículas Discretas .....</i>	<i>44</i>
<i>5.2.2 Sedimentação de Partículas Floculentas.....</i>	<i>53</i>
<i>5.2.3 Sedimentação em Zona .....</i>	<i>56</i>
<i>5.2.4 Zonas de um Decantador.....</i>	<i>59</i>
<i>5.2.4.1 Zona de Entrada .....</i>	<i>60</i>
<i>5.2.4.2 Zona de Sedimentação.....</i>	<i>63</i>
<i>a) Taxa de escoamento superficial .....</i>	<i>63</i>
<i>b) Velocidade longitudinal máxima .....</i>	<i>65</i>
<i>c) Número de decantadores e dimensões .....</i>	<i>67</i>
<i>d) Tempo de detenção hidráulica.....</i>	<i>68</i>
<i>5.2.4.3 Zona de Saída .....</i>	<i>70</i>
<i>5.2.4.4 Zona de Lodos.....</i>	<i>73</i>
<b>5.3 TIPOS DE DECANTADORES .....</b>	<b>80</b>
<i>5.3.1 Decantadores Convencionais de Fluxo Horizontal .....</i>	<i>80</i>
<i>5.3.2 Decantadores Convencionais de Fluxo Vertical.....</i>	<i>83</i>
<i>a) Manto de lodo com suspensão hidráulica.....</i>	<i>84</i>
<i>b) Manto de lodo com suspensão mecânica.....</i>	<i>85</i>

5.3.3 Decantador Laminar de Fluxo Ascendente.....	86
5.3.4 Decantador Laminar de Fluxo Horizontal.....	89
<b>5.4 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DOS DECANTADORES.....</b>	<b>91</b>
<b>5.5 EFICIÊNCIA DOS DECANTADORES.....</b>	<b>96</b>
<b>6 INSTALAÇÕES E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....</b>	<b>99</b>
<b>6.1 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA .....</b>	<b>99</b>
6.1.1 Descrição da ETA BOLONHA.....	99
6.1.2 Unidade de Sedimentação da ETA Bolonha.....	100
6.1.3 Sistema Auxiliar para Remoção de Lodo.....	107
<b>6.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>110</b>
6.2.1 Fase 1 - Diagnóstica da Eficiência dos Decantadores 1, 2, 3, 4, 5 e 6 da ETA Bolonha.....	111
6.2.1.1 Etapa 1 - Avaliação da eficiência dos decantadores 1, 2, 3, 4, 5 e 6 da ETA Bolonha.....	111
6.2.1.2 Etapa 2 - Quantificação do volume de lodo produzido nos decantadores da ETA Bolonha.....	113
6.2.1.3 Etapa 3 – Determinação da concentração de sólidos do lodo descartado dos decantadores da ETA Bolonha .....	113
6.2.2 Fase 2 – Avaliação da Eficiência dos Decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha com Remoção Diária de Lodo .....	115
6.2.2.1 Etapa 1 - Avaliação da eficiência dos decantadores 1 e 2 com descargas diárias de lodo .....	116
6.2.2.2 Etapa 2 - Quantificação do volume de lodo produzido nos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha.....	117
6.2.2.3 Etapa 3 – Determinação da concentração de sólidos descartados no lodo produzido nos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha .....	117
6.2.3 Fase 3 – Avaliação da Eficiência dos Decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha com Remoção de Lodo a cada 5 dias .....	118
6.2.3.1 Etapa 1 - Avaliação da eficiência dos decantadores 1 e 2 com remoção de lodo a cada 5 dias.....	119
6.2.3.2 Etapa 2 - Quantificação do volume de água perdido nos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha.....	120
6.2.3.3 Etapa 3 - Determinação da concentração de sólidos descartados no lodo produzido nos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha .....	120

<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>126</b>
<b>7.1 FASE 1 - DIAGNÓSTICO DA EFICIÊNCIA DOS DECANTADORES 1, 2, 3, 4, 5 E 6 DA ETA BOLONHA COM ROTINA DE LAVAGEM DOS DECANTADORES A CADA 12 DIAS .....</b>	<b>126</b>
7.1.1 <i>Etapa 1 - Avaliação da eficiência dos decantadores 1, 2, 3, 4, 5 e 6 da ETA Bolonha.....</i>	<i>126</i>
7.1.2 <i>Etapa 2 - Quantificação do lodo produzido nos decantadores da ETA Bolonha.....</i>	<i>143</i>
7.1.3 <i>Etapa 3 – Determinação da concentração de sólidos descartado no lodo produzido nos decantadores da ETA Bolonha.....</i>	<i>144</i>
<b>7.2 – FASE 2 – AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS DECANTADORES 1 E 2 DA ETA BOLONHA COM REMOÇÃO DIÁRIA DE LODO .....</b>	<b>147</b>
7.2.1 <i>Etapa 1 - Avaliação da eficiência dos decantadores 1 e 2 com descargas diárias de lodo.....</i>	<i>147</i>
7.2.2 <i>Etapa 2 - Quantificação do lodo produzido nos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha.....</i>	<i>162</i>
7.2.3 <i>Etapa 3 - Determinação da concentração de sólidos descartado no lodo produzido nos decantadores da ETA Bolonha.....</i>	<i>164</i>
<b>7.3 FASE 3 – AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS DECANTADORES 1 E 2 DA ETA BOLONHA COM REMOÇÃO DE LODO A CADA 5 DIAS.....</b>	<b>175</b>
7.3.1 <i>Etapa 1 - Avaliação da eficiência dos decantadores 1 e 2 com remoção de lodo a cada 5 dias.....</i>	<i>176</i>
7.3.2 <i>Etapa 2 - Quantificação do lodo produzido nos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha.....</i>	<i>190</i>
7.3.3 <i>Etapa 3 - Determinação da concentração de sólidos descartado no lodo produzido nos decantadores da ETA Bolonha.....</i>	<i>192</i>
<b>8 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>202</b>
<b>8.1 RESULTADOS DE EFICIÊNCIA DOS DECANTADORES 1 E 2 DA ETA BOLONHA.....</b>	<b>202</b>
<b>8.2 RESULTADOS DE QUANTIFICAÇÃO DO LODO PRODUZIDO NOS DECANTADORES 1 E 2 DA ETA BOLONHA .....</b>	<b>207</b>
<b>8.3 RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DO LODO PRODUZIDO NOS DECANTADORES 1 E 2 DA ETA BOLONHA .....</b>	<b>208</b>
<b>9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>212</b>

<b>9.1 - CONCLUSÕES.....</b>	<b>212</b>
<b>9.2 RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>214</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>215</b>
<b>APÊNDICE A –RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS DECANTADORES 1, 2, 3, 4, 5 E 6: TURBIDEZ, COR E SÓLIDOS SUSPENSOS .....</b>	<b>219</b>
<b>APÊNDICE B – RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DO LODO DO DECANTADOR 2: SÓLIDOS TOTAIS, SÓLIDOS SUSPENSOS E SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS.....</b>	<b>228</b>
<b>APÊNDICE C - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS DECANTADORES 1 E 2: TURBIDEZ, COR E SÓLIDOS SUSPENSOS.....</b>	<b>230</b>
<b>APÊNDICE D – RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS DOS DECANTADORES 1 E 2: SÓLIDOS TOTAIS, SÓLIDOS SUSPENSOS E SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS.....</b>	<b>232</b>
<b>APÊNDICE E - RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS DECANTADORES 1 E 2: TURBIDEZ, COR E SÓLIDOS SUSPENSOS.....</b>	<b>256</b>
<b>APÊNDICE F - RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DOS LODOS DOS DECANTADORES 1 E 2: SÓLIDOS TOTAIS, SÓLIDOS SUSPENSOS E SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS.....</b>	<b>258</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variáveis determinadas na 1ª fase experimental para avaliação da eficiência dos decantadores da ETA Bolonha .....	112
Tabela 2 – Variáveis determinadas na 1ª fase experimental para caracterização do lodo do decantador 2 da ETA Bolonha.....	115
Tabela 3 – Variáveis determinadas na 2ª fase experimental para avaliação da eficiência dos decantadores 1 e 2.....	116
Tabela 4 – Variáveis realizadas na 2ª fase experimental para concentração de sólidos do lodo do decantador 1 e 2 da ETA Bolonha.....	118
Tabela 5 – Variáveis realizadas na 3ª fase experimental para determinação da eficiência dos decantadores 1 e 2.....	119
Tabela 6 – Variáveis realizadas na 3ª fase experimental para caracterização do lodo do decantador 1 e 2 da ETA Bolonha .....	121
Tabela 7 – Equipamentos utilizados na determinação das variáveis monitoradas durante a investigação experimental.....	124
Tabela 8 - Resultados dos valores médios das variáveis analisadas nos decantadores da ETA Bolonha.....	138
Tabela 9 - Eficiência dos decantadores da ETA Bolonha .....	139
Tabela 10 - Comparação entre os valores de projeto, os valores atuais, a NBR e a literatura técnica .....	140
Tabela 11 - Concentração de ST obtidos em decantadores .....	145
Tabela 12 - Características do lodo dos decantadores da ETA Bolonha .....	147
Tabela 13 - Estatística básica para os resultados da etapa 2 .....	148
Tabela 14 - Estatística básica para os resultados de eficiência média de turbidez remanescente.....	152
Tabela 15 - Estatística básica para os resultados de eficiência média de cor aparente remanescente.....	155
Tabela 16 - Estatística básica para os resultados de eficiência média de SST remanescentes.....	158
Tabela 17 - Resultados dos valores médios das variáveis analisadas nos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha.....	161
Tabela 18 - Eficiência dos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha.....	161
Tabela 19 – Volume de lodo produzido nos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha..	163

Tabela 20 – Quantidade mensal de sólidos gerados pelo lodo .....	164
Tabela 21 - Estatística básica para os resultados da etapa 3 .....	165
Tabela 23 - Estatística básica para os resultados da etapa 3 .....	176
Tabela 24 - Estatística básica para os resultados de eficiência média de turbidez remanescente.....	180
Tabela 24 - Estatística básica para os resultados de eficiência média de cor aparente remanescente.....	183
Tabela 25 - Estatística básica para os resultados de eficiência de SST .....	186
Tabela 26 - Resultados dos valores médios das variáveis analisadas nos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha.....	188
Tabela 27 - Eficiência dos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha.....	189
Tabela 28 - Volume de lodo produzido nos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha ..	191
Tabela 29 – Quantidade mensal de sólidos gerados pelo lodo .....	192
Tabela 30 - Estatística básica para os resultados da etapa 3 .....	193
Tabela 31 - Valores médios das variáveis analisadas nos efluentes dos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha observados nas fases 1, 2 e 3.....	203
Tabela 32 - Eficiências médias dos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha observadas nas fases 1, 2 e 3.....	203
Tabela 33 - Comparação do volume de água perdido na fase 1 e 2.....	207
Tabela 34 - Comparação entre os valores médios das variáveis analisadas no lodo descartado durante as três fases .....	209

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais impurezas da água e o modo como são encontradas .....	33
Quadro 2 - Principais produtos químicos utilizados nos processos de tratamento de água .....	42
Quadro 3 – Variação do coeficiente Cd com o número de Reynolds .....	49
Quadro 4 – Equações mais utilizadas para se prever o comportamento da velocidade de sedimentação em relação à concentração de sólidos .....	57
Quadro 5 – Velocidade de sedimentação determinada de acordo com a vazão da ETA .....	65
Quadro 6 – Tempos de detenção em função do tipo de decantador.....	68
Quadro 7 – Período de detenção em função da taxa de escoamento superficial .....	69
Quadro 8 – Critérios básicos para o dimensionamento de decantadores convencionais de fluxo horizontal.....	70
Quadro 9 – Vazão média dos resíduos gerados nos decantadores.....	91
Quadro 10 – Características dos resíduos de decantadores de ETAs.....	92
Quadro 11 – Equações empíricas utilizadas para o cálculo da quantidade de lodo produzida em ETAs.....	93
Quadro 12 – Produtos químicos empregados na ETA Bolonha.....	100
Quadro 13 – Resumo das fases.....	111
Quadro 14 – Resumo da metodologia.....	124



## LISTA DE ESQUEMAS

Esquema 1 – Estação de Tratamento de Água Convencional .....	35
Esquema 2 – Floculador Mecânico .....	38
Esquema 3 – Filtro Rápido .....	40
Esquema 4 – Relação entre os processos de sedimentação e a concentração dos sólidos .....	44
Esquema 5 – Processo de sedimentação das partículas discretas.....	45
Esquema 6 – Forças atuantes durante a sedimentação de uma partícula discreta ..	45
Esquema 7 – Variação do coeficiente de arrasto ( $C_d$ ) com o número de Reynolds ..	48
Esquema 8 – Decantador ideal com zonas de sedimentação.....	50
Esquema 9 – Processo de sedimentação das partículas discretas.....	53
Esquema 10 – Curvas de isoconcentração para a determinação da percentagem de remoção total de partículas na sedimentação floculenta.....	56
Esquema 11 – Ensaio mostrando os estágios de sedimentação .....	57
Esquema 12 – Zonas que compõe um decantador ideal .....	60
Esquema 13 – Cortinas distribuidoras de água floculada .....	62
Esquema 14 – Raspador de lodo do tipo longitudinal .....	76
Esquema 15 – Decantador convencional de fluxo horizontal .....	81
Esquema 16 – Decantador convencional de fluxo vertical .....	81
Esquema 17 – Planta simplificada do decantador convencional de fluxo horizontal.	82
Esquema 18 – Decantador de manto de lodo com remoção de lodo hidráulica .....	84
Esquema 19 – Decantador de manto de lodo com remoção de lodo mecânica .....	85
Esquema 20 – Decantador laminar com bandeja intermediária.....	86
Esquema 21 – Decantador tubular de fluxo ascendente.....	88
Esquema 22 – Decantador laminar de fluxo horizontal com lonas plásticas.....	89
Esquema 23 – Esquema do processo de tratamento da ETA Bolonha.....	100
Esquema 24 – Decantador da ETA Bolonha.....	101
Esquema 25 – Corte simplificado do decantador .....	102
Esquema 26 – Painel distribuidor de água floculada.....	103
Esquema 27 – Dimensões do tronco de pirâmide.....	105
Esquema 28 - Representação esquemática da unidade de sedimentação da ETA Bolonha .....	142

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Vertedor Parshall.....	37
Fotografia 2 – Coluna de sedimentação.....	55
Fotografia 3 – Calhas coletoras de água decantada .....	71
Fotografia 4 – Válvulas de descarga de lodo .....	74
Fotografia 5 – Lavagem do decantador com auxílio de mangueiras de incêndio .....	75
Fotografia 6 - Raspador de lodo do tipo rotativo .....	76
Fotografia 7 - Cones para acumulação do lodo em formato de tronco.....	79
Fotografia 8 – Decantador com bandeja intermediária.....	101
Fotografia 9 – Volante de acionamento da comporta.....	102
Fotografia 10 – Painel distribuidor de água floculada.....	103
Fotografia 11 – Calhas coletoras.....	104
Fotografia 12 – Canal de água decantada .....	104
Fotografia 13 – Troncos de pirâmide invertidos do decantador.....	105
Fotografias 14 e 15 – Válvula auxiliar (2ª fase da ETA Bolonha) .....	106
Fotografias 16 e 17 – Lavagem da calha coletora e lavagem interna do decantador .....	107
Fotografia 18 – Canal de drenagem do lodo .....	107
Fotografia 19 – Sistema auxiliar para remoção do lodo .....	108
Fotografias 20 e 21 – Tubulação de sinfonamento para remoção do lodo da bandeja intermediária.....	109
Fotografias 22 e 23 – Bocais de sucção do lodo.....	109
Fotografias 24 e 25 – Bocais de sucção do lodo.....	110
Fotografia 26 - Válvula de descarga de fundo.....	114
Fotografia 27 - Lavagem do decantador 2 da ETA Bolonha .....	144
Fotografia 28 - Lodo flotando no decantador 1 (28 dias de operação) na Fase 2 ...	149
Fotografia 29 - Lodo flotando no decantador 2 (21 dias de operação) na Fase 2 ...	150
Fotografia 30 - Desprendimento de placas de lodo no decantador 2 .....	150
Fotografia 31 e 32 - Lodo arrastados para as calhas coletoras no decantador 2 na Fase 2 .....	151
Fotografia 33 - Lodo flotando no decantador 2 (28 dias de operação) na Fase 2 ...	151
Fotografia 34, 35 e 36 - Descarga do lodo na abertura da válvula de fundo, no 1º e 2º minuto – Fase 2.....	168

Fotografia 37, 38 e 39 - Descarga do lodo no 3 <sup>o</sup> , 4 <sup>o</sup> e 5 <sup>o</sup> minuto – Fase 2.....	168
Fotografia 40, 41 e 42 - Descarga do lodo na abertura da válvula do sistema auxiliar, no 5 <sup>o</sup> e 10 <sup>o</sup> minuto – Fase 2 .....	169
Fotografia 43 e 44 - Descarga do lodo do sistema auxiliar no 15 <sup>o</sup> e 20 <sup>o</sup> minuto – Fase 2 .....	169
Fotografia 45 - Concentração de SST do lodo descartado do decantador 1 na Fase 2 .....	172
Fotografia 46 - Concentração de SST do lodo descartado do decantador 2 na Fase 2 .....	172
Fotografia 47 - Concentração de SST do lodo descartado do sistema auxiliar na Fase 2 .....	173
Fotografia 48 - Lodo flotando no decantador 1 (19 <sup>o</sup> dia de operação) – Fase 3 .....	177
Fotografia 49 - Lodo na calha coletora do decantador 1 .....	178
Fotografia 50 - Lodo flotando no decantador 1 (18 dias de operação) – Fase 3.....	178
Fotografia 51 - Lodo sendo arrastado para a calha coletora do decantador 1 .....	179
Fotografia 52 - Decantador 1 com a superfície parcialmente coberta de lodo .....	179
Fotografia 53, 54 e 55 - Descarga do lodo na abertura da válvula de fundo, no 1 <sup>o</sup> e 2 <sup>o</sup> minuto – Fase 3.....	196
Fotografia 56, 57 e 58 - Descarga do lodo no 3 <sup>o</sup> , 4 <sup>o</sup> e 5 <sup>o</sup> minuto – Fase 3.....	196
Fotografia 59, 60 e 61 - Descarga do lodo na abertura da válvula do sistema auxiliar, no 5 <sup>o</sup> e 10 <sup>o</sup> minuto – Fase 3 .....	196
Fotografia 62 e 63 - Descarga do lodo do sistema auxiliar no 15 <sup>o</sup> e 20 <sup>o</sup> minuto – Fase 3 .....	197
Fotografia 64 - Concentração de SST no lodo descartado do decantador 1 – Fase 3 .....	199
Fotografia 65 - Concentração de SST no lodo descartado do decantador 2 – Fase 3 .....	199
Fotografia 66 - Concentração de SST no lodo descartado do sistema auxiliar – Fase 3 .....	200

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Velocidade de sedimentação em zona em função do teor de sólidos ....	58
Gráfico 2: Série temporal - valores de turbidez do decantador 1 na Fase 1 .....	127
Gráfico 3: Série temporal - valores de turbidez do decantador 2 na Fase 1 .....	127
Gráfico 4: Série temporal - Valores de turbidez do decantador 3 na Fase 1 .....	128
Gráfico 5: Série temporal - Valores de turbidez do decantador 4 na Fase 1 .....	128
Gráfico 6: Série temporal - Valores de turbidez do decantador 5 na Fase 1 .....	129
Gráfico 7: Série temporal - Valores de turbidez do decantador 6 na Fase 1 .....	129
Gráfico 8: Série temporal - Valores de cor aparente do decantador 1 na Fase 1 ...	131
Gráfico 9: Série temporal - Valores de cor aparente do decantador 2 na Fase 1...	131
Gráfico 10: Série temporal - Valores de cor aparente remanescente do decantador 3 na Fase 1 .....	132
Gráfico 11: Série temporal - Valores de cor aparente do decantador 4 na Fase 1 .....	132
Gráfico 12: Série temporal - Valores de cor aparente do decantador 5 na Fase 1..	133
Gráfico 13: Série temporal - Valores de cor aparente do decantador 6 na Fase 1..	133
Gráfico 14: Série temporal - Valores de SST do decantador 1 na Fase 1.....	135
Gráfico 15: Série temporal - Valores de SST do decantador 2 na Fase 1.....	135
Gráfico 16: Série temporal - Valores de SST do decantador 3 na Fase 1.....	136
Gráfico 17: Série temporal - Valores de SST do decantador 4 na Fase 1.....	136
Gráfico 18: Série temporal - Valores de SST do decantador 5 na Fase 1.....	137
Gráfico 19: Série temporal - Valores de SST do decantador 6 na Fase 1.....	137
Gráfico 20: Concentração de ST no lodo descartado pelo decantador 2 na Fase 1 .....	145
Gráfico 21: Relação SST e ST nas coletas de lodo do decantador 2 na Fase 1 .....	146
Gráfico 22: Variação dos SSed durante o tempo de descarga do decantador 2 na Fase 1 .....	146
Gráfico 23: Série temporal - variação de turbidez remanescente nos decantadores 1 e 2 na Fase 2 .....	149
Gráfico 24: Box e Whiskers para turbidez remanescente – Fase 2.....	153
Gráfico 25: Série temporal - variação da eficiência de turbidez nos decantadores 1 e 2 na Fase 2 .....	153
Gráfico 26: Série temporal - variação de cor aparente nos decantadores 1 e 2 na	

Fase 2 .....	155
Gráfico 27: Box e Whiskers para cor aparente remanescente na Fase 2 .....	156
Gráfico 28: Série temporal - variação da eficiência de cor aparente nos decantadores 1 e 2 na Fase 2.....	156
Gráfico 29: Série temporal - variação de SST nos decantadores 1 e 2 – Fase 2...	158
Gráfico 30: Box e Whiskers para SST na Fase 2 .....	159
Gráfico 31: Série temporal - variação da eficiência de SST nos decantadores 1 e 2 na Fase 2 .....	160
Gráfico 32 - Série temporal - variação da concentração de ST nos decantadores 1 e 2 e no sistema auxiliar de remoção de lodo na Fase 2 .....	166
Gráfico 33: Concentração de ST nos decantadores 1 e 2 durante a descarga de lodo na Fase 2 .....	167
Gráfico 34: Concentração de ST no sistema auxiliar durante a descarga de lodo na Fase 2 .....	167
Gráfico 35: Relação SST e ST na descarga de lodo do decantador 1 – Fase 2 .....	170
Gráfico 36: Relação SST e ST na descarga de lodo do decantador 2 – Fase 2 .....	171
Gráfico 37: Relação SST e ST na descarga de lodo do sistema auxiliar – Fase 2 .	171
Gráfico 38: Série temporal - variação dos SSed ao longo do tempo nos decantador 1 e 2 e no sistema auxiliar de remoção de lodo na Fase 2 .....	174
Gráfico 39: Concentração de SSed nos decantadores 1 e 2 durante a descarga de lodo – Fase 2.....	174
Gráfico 40: Concentração de SSed no sistema auxiliar durante descarga de lodo – Fase 2 .....	175
Gráfico 41: Série temporal – valores de turbidez dos decantadores 1 e 2 na Fase 3 .....	177
Gráfico 42: Box e Whiskers para turbidez remanescente – Fase 3.....	181
Gráfico 43: Série temporal - variação da eficiência de turbidez remanescente nos decantadores 1 e 2 na Fase 3.....	181
Gráfico 44: Série temporal – valores de cor aparente dos decantadores 1 e 2 na Fase 3 .....	182
Gráfico 45: Box e Whiskers para cor aparente remanescente na Fase 3 .....	184
Gráfico 46: Série temporal - variação da eficiência de cor aparente remanescente nos decantadores 1 e 2 na Fase 3.....	184
Gráfico 47: Série temporal – valores de SST dos decantadores 1 e 2 na Fase 3...	185

Gráfico 48: Box e Whiskers para SST – Fase 3.....	187
Gráfico 49: Série temporal - variação da eficiência de SST nos decantadores 1 e 2 – Fase 3 .....	187
Gráfico 50: Série temporal - variação da concentração de ST nos decantadores 1 e 2 e no sistema auxiliar de remoção de lodo – Fase 3 .....	194
Gráfico 51: Concentração de ST nos decantadores 1 e 2 durante a descarga de lodo – Fase 3 .....	194
Gráfico 52: Concentração de ST no sistema auxiliar durante a descarga de lodo – Fase 3 .....	195
Gráfico 53: Relação SST e ST na descarga de lodo do decantador 1 – Fase 3.....	197
Gráfico 54: Relação SST e ST na descarga de lodo do decantador 2 – Fase 3.....	198
Gráfico 55: Relação SST e ST na descarga de lodo do sistema auxiliar – Fase 3 .	198
Gráfico 56: Série temporal - variação dos SSed nos decantadores 1 e 2 e no sistema auxiliar de remoção de lodo – Fase 3 .....	201
Gráfico 57: Concentração de SSed nos decantadores 1 e 2 durante a descarga de lodo – Fase 3.....	201
Gráfico 58: Concentração de SSed no sistema auxiliar durante a descarga de lodo – Fase 3 .....	202

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A	Área da seção transversal do decantador
a	Área total dos orifícios da cortina distribuidora do decantador
AB	Água Bruta
AD	Água Decantada
AFL	Água Flocculada
APA-Belém	Área de Proteção Ambiental dos Mananciais de Abastecimento de Água de Belém
AWWA	American Water Works Association
b	Largura do decantador
C	Cor da água bruta (uC)
CAP	Concentração de carvão em pó
Cd	Coefficiente de arrasto de Newton
COSANPA	Companhia de Saneamento do Pará
CV	Coefficiente de Variação
d	Diâmetro da partícula
D <sub>Fe</sub>	Dosagem de cloreto férrico
D <sub>Al</sub>	Dosagem de sulfato de alumínio
D1	Decantador 1
D2	Decantador 2
D3	Decantador 3
D4	Decantador 4
D5	Decantador 5
D6	Decantador 6
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETAs	Estações de Tratamento de Água
ETA Bolonha	Estação de Tratamento de Água do Bolonha
ETEs	Estações de Tratamento de Esgoto
f	Coefficiente de atrito de Fanning
F <sub>a</sub>	Força de arrasto
F <sub>e</sub>	Força de empuxo
Fi	Massa de precipitação de hidróxido de ferro
FV	Faixa de Variação

H	Profundidade do decantador
H	Dosagem de coagulante em mg/L
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
k	Coefficiente de precipitação:
L	Comprimento da zona de sedimentação
LCR	Laboratório de Controle de Resíduos
M	Média
Mi	Massa de precipitação de óxido de manganês
Nt	Turbidez no efluente
N <sub>0</sub>	Turbidez no afluente
P	Peso da partícula
pH	Potencial Hidrogeniônico
P <sub>L</sub>	Produção de lodo seco
PNSB	Pesquisa Nacional em Saneamento Básico
Q	Vazão da água bruta
ql	Vazão mensal de lodo
Re	Número de Reynolds
RMB	Região Metropolitana de Belém
S.A	Sistema Auxiliar de Remoção de Lodo da Bandeja Intermediária
S.Sed	Sólidos Sedimentáveis
SST	Sólidos em Suspensão Totais
ST	Sólidos Totais
T	Turbidez da água bruta (uT)
T <sub>sm</sub>	Quantidade mensal de sólidos
Td	Tempo médio de detenção
T <sub>t</sub>	Tempo teórico que uma partícula discreta leva para sedimentar
UFPA	Universidade Federal do Pará
uC	Unidade de cor
US	Unidade de Sedimentação
uT	Unidade de turbidez
V	Volume da partícula
V1	Válvula de Descarga de Fundo 1
V2	Válvula de Descarga de Fundo 2
V3	Válvula de Descarga de Fundo 3



$V_H$	Velocidade média de escoamento
$V_0$	Velocidade de escoamento longitudinal da partícula
$V_s$	Velocidade de sedimentação da partícula
$V_t$	Velocidade terminal de sedimentação da partícula
$X$	Coefficiente para converter cor em sólidos
hp	Perda de carga
g	Aceleração da gravidade
°C	Grau Celsius
$\rho$	Massa específica do fluido
$\rho_s$	Massa específica real da partícula
$\mu$	Viscosidade dinâmica do fluido
$\emptyset$	Diâmetro
%	Percentual

## 1. INTRODUÇÃO

A falta de água é um problema para 17,3% dos distritos brasileiros, estando relacionada ao crescimento desordenado e à degradação da qualidade das águas. A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2002, indica que em 1.709 dos 9.848 distritos (bairros legais dos municípios) brasileiros ocorre racionamento de água.

A qualidade da água que abastece a população é outro problema. Segundo a PNSB, o volume de água sem tratamento aumentou, já que passou de 3,9% em 1989 para 7,2% em 2000. Isso demonstra que o crescimento no abastecimento não foi acompanhado pela infra-estrutura para garantir a qualidade da água consumida pela população. A região Norte do Brasil é a que possui menor quantidade de água tratada, pois somente 67,7% do volume distribuído recebe algum tipo de tratamento. É importante observar que na Agenda 21 foi constatado que aproximadamente 80% das doenças de origem hídrica são causadas pelo consumo de água contaminada.

Para que seja um produto de qualidade, a água pode ser submetida a diversos procedimentos técnicos dos sistemas de tratamento de água, que são processos e operações realizados na água bruta para a obtenção de produto potável físico-químico e bacteriologicamente seguro para consumo humano. Para tanto, é necessário eliminar ou reduzir determinadas substâncias, elementos químicos e microorganismos a concentrações que não sejam prejudiciais à saúde do ser humano (DI BERNARDO *et al.*, 2002).

Além disso, a qualidade da água depende, entre outros fatores, de bom controle operacional das diversas unidades que compõem o sistema de tratamento, o que nem sempre ocorre, mesmo em estações de grande porte.

Atualmente, um dos objetivos dos projetistas de estações de tratamento de água é agregar técnicas mais eficientes em unidades que ocupem menor área e sejam automatizadas, uma vez que o bom desempenho da estação de tratamento de água depende, inicialmente, da seleção adequada da tecnologia de tratamento, da elaboração de projeto criterioso e de operação eficiente.

Na avaliação de desempenho de uma ETA, essencialmente busca-se aferir a adequação e eficiência de remoção de cor, turbidez e sólidos suspensos e eficiência hidráulica dos diversos processos unitários de tratamento. Genericamente, devem ser analisados os fatores hidráulicos e operacionais que poderiam proporcionar um desempenho insuficiente (BASTOS *et al.*, 2000).

Além desses fatores, é necessário lembrar que muitas estações de tratamento de água encontram-se operando acima de sua capacidade de vazão de projeto ou produzindo água com qualidade insatisfatória. Tal situação ocorre em virtude de se procurar suprir a demanda sempre crescente de água, mantendo sua qualidade, e defrontando-se com a escassez de recursos (COSTA, 1997).

Assim é nítida a importância do diagnóstico e avaliação do desempenho de ETAs, seguida da otimização dos processos de tratamento. Para isso são necessárias investigações laboratoriais que tragam subsídios e contribuições de mais alto valor técnico-científico, para resolver questões relacionadas com as condições de coagulação, floculação, sedimentação e filtração, com o objetivo de garantir a produção sistemática de água de boa qualidade, ao menor custo possível, reduzindo os custos com produtos químicos e energia elétrica, aumentando a eficiência do processo e, conseqüentemente, promovendo a saúde pública.

A ETA destacada neste estudo é a Estação de Tratamento de Água do Bolonha (ETA Bolonha), responsável pelo fornecimento de 65% da água consumida na Região Metropolitana de Belém (RMB), que localiza-se dentro dos limites da Área de Proteção Ambiental dos Mananciais de Abastecimento de Água de Belém (APA – Belém).

A otimização e a redução dos custos (produtos químicos e energia elétrica) operacionais da ETA BOLONHA são metas da atual direção da Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA), a que solicitou a cooperação do Grupo de Pesquisa Hidráulica e Saneamento – GPHS da Universidade Federal do Pará na realização de pesquisas com a finalidade de diagnosticar as condições físicas e operacionais da referida ETA, bem como para análise dos atuais resultados operacionais com os recomendados no projeto executivo. Nesse contexto, o presente trabalho é uma das partes integrantes dessa atividade de pesquisa do

GPHS.

Assim, neste trabalho foi avaliada a eficiência de remoção de cor, turbidez e sólidos suspensos dos decantadores da ETA Bolonha, além de quantificar e determinar as concentrações de sólidos do lodo produzido nesta unidade, tendo como finalidade reduzir as perdas de água e otimizar o funcionamento dessa unidade.

## 2. JUSTIFICATIVA

O projeto da ETA Bolonha foi elaborado para permitir a construção em duas etapas, com capacidade de 3,32 e 6,4 m<sup>3</sup>/s nas etapas 1 e 2, respectivamente. Atualmente, apenas a primeira etapa está concluída, sendo que a vazão de operação de 4,0 m<sup>3</sup>/s supera em 0,64 m<sup>3</sup>/s (19%) a capacidade inicial projetada para a 1ª etapa.

Como consequência da sobrecarga hidráulica, as unidades componentes da ETA Bolonha podem estar operando com eficiência menor do que a projetada, tornando importante a aferição e dos diversos processos de tratamento da ETA Bolonha, o que requer a análise dos fatores hidráulicos e operacionais que podem estar concorrendo para possível diminuição do desempenho operacional da ETA.

Dessa forma, este estudo teve a finalidade de avaliar a eficiência de remoção de cor, turbidez e sólidos suspensos dos decantadores da ETA Bolonha, que são do tipo convencional com bandeja intermediária. Esse tipo de decantador ainda é pouco utilizado no Brasil, por possibilitar a sedimentação de lodo na bandeja, ocasionando alguns transtornos operacionais, principalmente, relativos à limpeza, os quais ainda podem ser agravados quando a unidade é submetida a sobrecarga hidráulica, como na ETA Bolonha.

Nessas condições operacionais existem poucos estudos, o que também justifica a determinação do volume de lodo produzido para indicar a rotina operacional de limpeza do lodo gerado nos decantadores, já que, na situação atual, toda massa líquida é removida em intervalos de 12 dias (prazo estabelecido por critérios práticos), o que difere do recomendado no projeto executivo (remoção diária de lodo armazenado).

Assim, esses fatos podem estar facilitando o arraste de partículas, aumentando a turbidez da água decantada, o que provoca redução na carreira de filtração, devido à sobrecarga de sólidos obstruir os filtros e reduz a qualidade da água filtrada. Portanto, a clarificação do efluente líquido da unidade de decantação é importante para aumentar o tempo de carreira dos filtros e, com isso, reduzir o volume de água perdida na retrolavagem.

Pelo exposto, é necessária avaliação da atual rotina operacional e de alternativas de procedimento operacional com base em determinações laboratoriais, tendo como objetivo aumentar a eficiência do processo e, conseqüentemente, garantir a produção sistemática de água de boa qualidade e promover a saúde pública. Além disso, este estudo tem como escopo servir de base para futuras caracterizações da qualidade da água tratada, da remoção de sub-produtos (lodo), da redução do consumo de produtos químicos, do controle das perdas físicas e, conseqüentemente, da redução do custo do m<sup>3</sup> de água distribuído em grande parte da RMB.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. GERAL**

Avaliar a variação da eficiência de remoção de cor, turbidez e sólidos suspensos dos decantadores da ETA Bolonha, em função do descarte de lodo, para propor rotina operacional na unidade de decantação.

#### **3.2. ESPECÍFICOS**

- Verificar a eficiência de remoção de cor, turbidez e sólidos suspensos no efluente dos decantadores;
- Quantificar o volume de lodo produzido nos decantadores;
- Quantificar a perda de água nos decantadores em relação a rotina operacional empregada;
- Determinar as concentrações de sólidos no lodo descartado dos decantadores;
- Determinar as concentrações de sólidos no lodo descartado do sistema auxiliar para remoção de lodo sedimentado na bandeja intermediária do decantador;
- Comparar as rotinas operacionais empregadas na pesquisa;
- Selecionar a melhor rotina operacional.

#### 4. HIPÓTESE(S)

Na realização da dissertação foram trabalhadas as seguintes hipóteses:

- A avaliação da eficiência de remoção de cor, turbidez e sólidos suspensos dos decantadores da ETA Bolonha se constitui em um instrumento que define a melhor rotina operacional de remoção do lodo armazenado nos decantadores da ETA Bolonha, sendo indispensável para o processo decisório;
- Alterar a atual rotina operacional de limpeza dos decantadores para remoção diária de lodo (atendendo ao projeto executivo) ou nova rotina operacional evita a grande perda de água durante a limpeza;
- Tecnicamente pode ser reduzido o volume de lodo sedimentado na bandeja intermediária.



## 5. REVISÃO DA LITERATURA

### 5.1. PROCESSOS E OPERAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

De acordo com Leme (1990) e Oliveira (1987), são as impurezas que determinam as características físicas, químicas e biológicas da água bruta em função das quais se fixam os processos de tratamento que devem ser adotados. No Quadro 1 são apresentados as principais impurezas e o modo como são encontradas.

Estado	Impurezas
Em suspensão	Areia, silte, argila, bactérias, microrganismos, algas, protozoários, resíduos industriais e domésticos.
Em estado coloidal	Substâncias vegetais, sílica.
Em dissolução	Sais de cálcio e magnésio, sais de sódio e de potássio, ferro, manganês, oxigênio e substâncias albuminóides e amoniacais.

Quadro 1 – Principais impurezas da água e o modo como são encontradas

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA (1987)

A água destinada ao consumo humano deve preencher condições mínimas para que possa ser ingerida ou utilizada para fins higiênicos, isto é, livre de material em suspensão, cor, gosto, odor, microrganismos patogênicos e substâncias orgânicas ou inorgânicas, com teores que possam ser prejudiciais ao ser humano. (DI BERNARDO, 1993).

Segundo Richter e Azevedo Neto (2002), a qualidade da água é determinada por um conjunto de parâmetros que, por sua vez, são determinados por uma série de análises físicas, químicas e biológicas.

De acordo com Di Bernardo (1993), juntamente com o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas de laboratório para a análise da água foram propostos Padrões e Normas cada vez mais restritos à qualidade da água a ser distribuída ao ser humano. Os padrões de potabilidade ou de água potável indicam as condições que a água deve preencher para poder ser utilizada para consumo humano (OLIVEIRA,1987).

Segundo Vianna (2002), os padrões de potabilidade devem ser elaborados de forma a atender a, pelo menos, dois aspectos fundamentais: permitir que se ofereça às populações água límpida, de sabor agradável e inodora; e impedir que a água distribuída leve consigo substâncias e/ou microrganismos patogênicos capazes de afetar a saúde humana.

Em razão da importância que a água representa para melhoria da qualidade de vida e a manutenção da saúde humana, foi publicada a Portaria nº 518 do Ministério da Saúde em de 25 de março de 2004 com os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Segundo Di Bernardo (1993), as tecnologias de tratamento de água evoluíram consideravelmente, podendo-se dizer que qualquer água pode ser tratada e destinada ao consumo, porém quanto mais poluído for o manancial de captação, mais complexo será o processo de tratamento e, portanto, mais cara será a transformação da água bruta em potável.

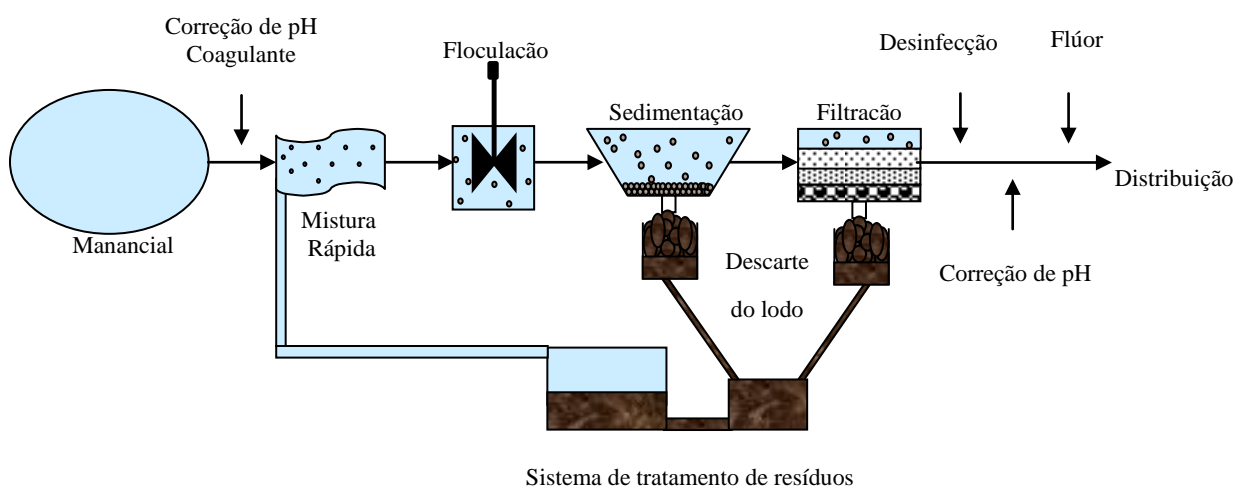
De acordo com Richter e Azevedo Neto (2002) e Di Bernardo (1993), somente a realização de exames e análises da água bruta e a inspeção sanitária da bacia hidrográfica e, às vezes, a execução de pesquisas em instalações pilotos é que podem fornecer os elementos necessários à definição da tecnologia de tratamento apropriada à qualidade da água bruta em questão, com o fim de torná-la potável.

No tratamento da água bruta são realizados processos e operações com a finalidade de remover ou destruir quaisquer microrganismos nocivos, substâncias químicas prejudiciais, bem como materiais, sejam em suspensão ou em solução, prejudiciais e danosos à saúde, para melhorar as características qualitativas da água, do ponto de vista físico, químico, bacteriológico e organoléptico, a fim de

torná-la própria para o consumo humano.

Dependendo das características físico-químicas e biológicas da água bruta, o sistema de tratamento de água pode ter vários processos, que sempre terão como objetivo a simplicidade de operação ao menor custo possível de implantação e operação.

Na maioria das Estações de Tratamento de Água (ETA) é utilizado o tratamento convencional para remoção de sólidos presente na água bruta, que é composto pelas seguintes unidades: mistura rápida, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. No Esquema 1 são apresentados os principais processos que compõem o sistema de tratamento de água convencional utilizado na maioria das ETAs.



Esquema 1 – Estação de Tratamento de Água Convencional

Fonte: Direta

Na unidade de mistura rápida ocorre o processo de neutralização das cargas das partículas naturais pela adição de produto químico denominado coagulante. Dessa forma, a mistura rápida tem a finalidade de promover a dispersão do coagulante à água, desestabilizando as partículas, para que, em outras etapas do processo de tratamento, sejam aglutinadas umas às outras, formando flocos que serão removidos nas unidades subseqüentes do tratamento (VIANNA, 2002).

Segundo Lorenz (1995), o sulfato de alumínio é o coagulante mais utilizado no tratamento de água por ser um sal de alta solubilidade, fácil transporte (estado sólido) e por possuir faixa de ação de pH próximo das águas naturais. Além do coagulante podem ser utilizados coadjuvantes, que tem a finalidade de auxiliar o processo de coagulação. Os coadjuvantes mais utilizados são:

- Sílica ativada: indicada em caso de águas com baixa quantidade de material propício à formação de núcleos de flocos, melhorando a floculação e a decantação;
- Polieletrólitos: utilizado para melhorar a capacidade de floculação, apresentando resultados melhores na decantação e filtração. Reduz o consumo de coagulantes e apresenta também redução do volume de lodo nos decantadores;
- Bentonita;
- Flocos pré-formados.

O processo de reação química da aplicação do coagulante à água é muito rápido, ocorrendo em segundos. Por isto, é imprescindível a mistura intensa no ponto de aplicação do coagulante, a fim de que se possa garantir distribuição homogênea e exposição das partículas finas existentes na água ao coagulante, antes que a reação termine. A inexistência de mistura intensa adequada implica em que parte da água seja supertratada, enquanto que outras partes sejam insuficientemente tratadas (LEME, 1990).

O vertedor Parshall é o dispositivo hidráulico mais utilizado em ETAs, sendo também destinado à medição de vazão de líquidos fluindo por gravidade a ser instalado em canais. Assim, quando convenientemente utilizado, o medidor Parshall associa a função de medidor de vazão à de misturador rápido nas ETAs. Na Fotografia 1 é mostrado um vertedor Parshall.



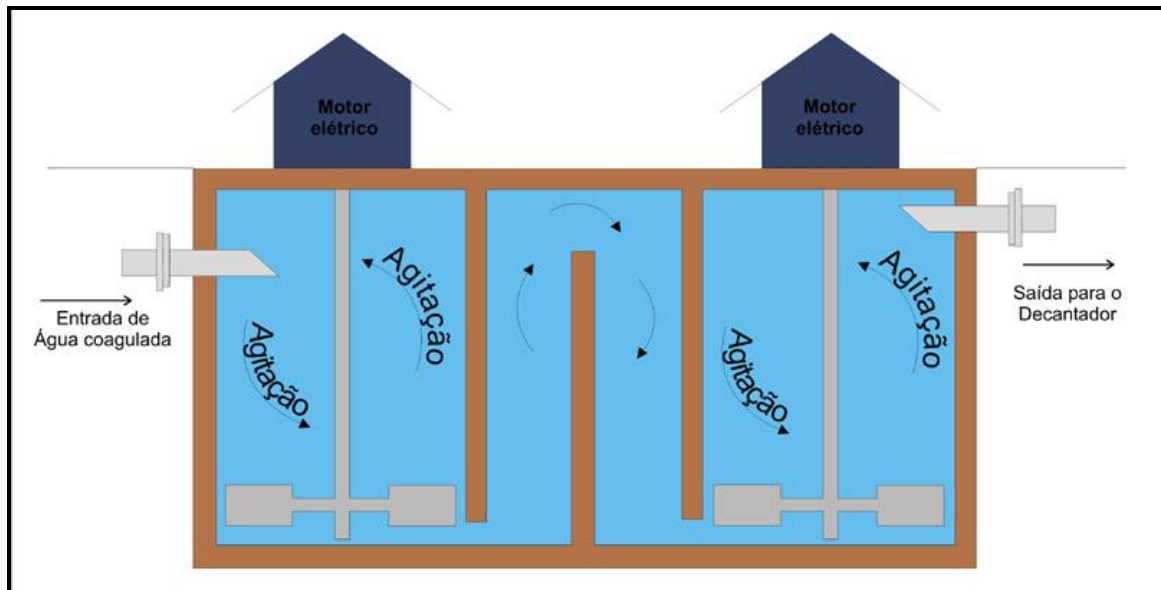
Fotografia 1 – Vertedor Parshall

Fonte: (TRATAMENTO)

A floculação é um processo que tem por finalidade promover a agregação e coalescência das partículas previamente desestabilizadas, efetuadas em unidades de mistura lenta. (VIANNA, 2002).

Parlatore (1977) comenta que a floculação é o processo em que as partículas em estado de equilíbrio eletrostaticamente instáveis na massa líquida são forçadas a se movimentar, por meio de processo mecânico que produz agitação na água, a fim de que sejam atraídas entre si formando flocos, que, com a continuidade da agitação, tendem a aderir uns aos outros, tornando-se partículas maiores e com maior peso para que se possa removê-las mais facilmente na próxima etapa do tratamento.

A agitação deve ser lenta e adequada, pois velocidades muito elevadas podem romper flocos previamente formados, enquanto que velocidades baixas levam a floculação incompleta, prejudicando as unidades subseqüentes (sedimentação e filtração). Essa agitação se processa em tanques com equipamentos eletro-mecânico ou com dispositivos hidráulicos (chicanas) chamados floculadores. No Esquema 2 é mostrado um floculador mecânico.



Esquema 2 – Flocculador Mecânico

Fonte: (MÉTODOS)

De acordo com Campos e Povinelli (1977), a coagulação e a floculação são as etapas mais delicadas do tratamento de água para abastecimento, sendo que a correta operação influi de modo decisivo na preparação da decantação e indiretamente para que se processe uma boa filtração.

Jordão e Pessoa (1995) explicam que a sedimentação é a operação unitária pela qual a capacidade de carreamento e de erosão da água é diminuída, até que as partículas em suspensão decantem pela ação da gravidade e não possam mais ser arrastada pela ação erosiva.

Enquanto que na sedimentação as partículas suspensas apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica, devido à força gravitacional, a flotação é o processo em que ocorre a ascensão das partículas suspensas, pela aderência de bolhas de ar às mesmas, tornando-as de menor massa específica que o meio onde se encontram. (DI BERNARDO, 1993).

A flotação é caracterizada pela ascensão das partículas suspensas, por meio de insuflação de ar comprimido, pela aderência de microbolhas de ar as mesmas, que arrastam para superfície líquida, sólidos de difícil separação que são removidos por um sistema mecânico de superfície, enquanto o efluente clarificado fica nas camadas mais baixas do tanque onde é removido (REALLI, 1999).

A filtração é a operação de separação das partículas em suspensão, e microrganismos que a ela estiverem associados, que por ventura não foram retidos no decantador.

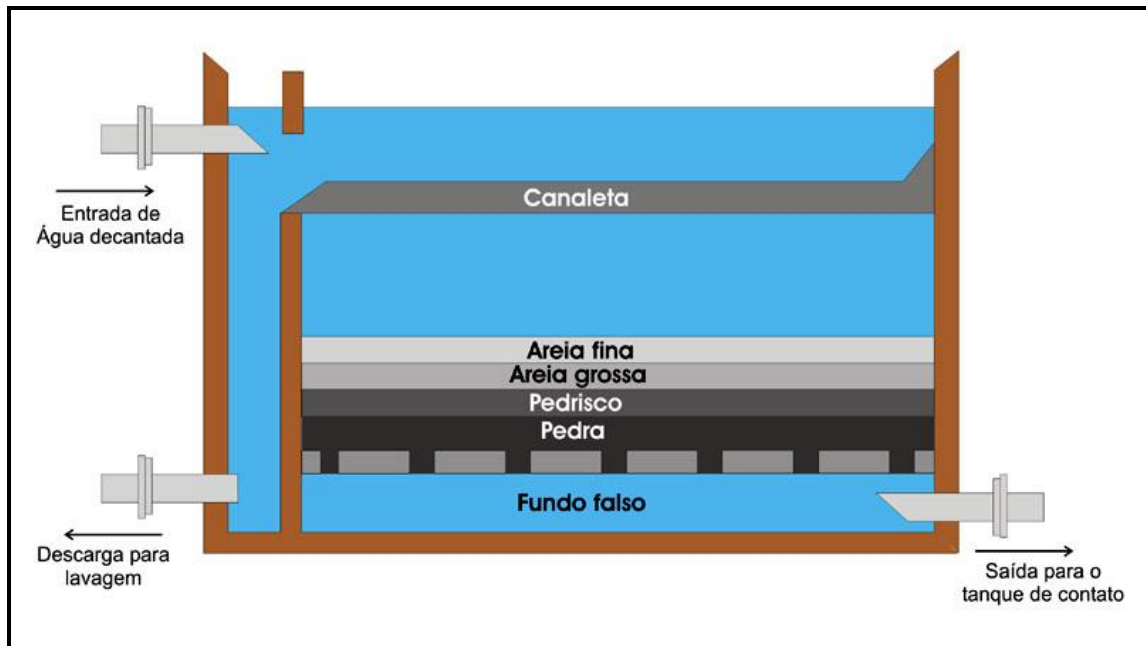
Segundo Richter e Azevedo Netto (2002), a filtração pode envolver processos físicos, químicos e biológicos de separação sólido-líquido, com a finalidade de remover matéria em suspensão que existe na água que passa por um meio poroso – leito filtrante, onde ficam retidas essas impurezas.

As unidades de tratamento na qual se processa a filtração são denominadas filtros, que podem ser construídos em concreto, fibra de vidro e metálicos, sendo constituídos por um meio filtrante. Vários materiais podem ser empregados como meios filtrantes, porém, tem sido comum o uso de areia e antracito (DI BERNARDO *et al.*, 2002).

De acordo com Libânio (1991), o processo de filtração pode ser efetuado segundo uma das seguintes concepções:

- Filtração de fluxo descendente
  - de baixa taxa de filtração (denominados filtros lentos descendentes);
  - de alta taxa de filtração (denominados filtros rápidos descendentes);
    - ◆ de camada simples;
    - ◆ de múltiplas camadas;
- Filtração de fluxo ascendente
  - de baixa taxa de filtração (denominados filtros lentos ascendentes);
  - de alta taxa de filtração (denominados filtros rápidos ascendentes).

No Esquema 3 é apresentado um filtro rápido (ou de gravidade) usado para a filtração de grandes volumes de água.



Esquema 3 – Filtro Rápido

Fonte: (MÉTODOS)

Geralmente a filtração é o processo final de remoção de impurezas realizado em uma ETA e, portanto, é a principal unidade responsável pela produção de água com qualidade condizente com o Padrão de Qualidade (DI BERNARDO *et al.*, 2002).

Segundo Vianna (2002), o tratamento de água para abastecimento público só estará completo após haver sido assegurada à eliminação de microrganismos patogênicos (vírus, bactérias, protozoários, fungos e vermes) que por acaso tenham conseguido transpor as fases de tratamento anteriores: coagulação, floculação, decantação e filtração. Dessa forma, o processo de desinfecção tem por finalidade purificar a água para fins de potabilização.

Existem vários produtos que podem ser utilizados como desinfetantes, por exemplo, o cloro, o ozônio, raios ultravioletas e utilização de compostos alternativos de cloro. (VIANNA, 2002).

Como já foi dito, a desinfecção tem caráter corretivo e preventivo, isso porque mesmo quando a água é desinfetada ela pode contaminar-se ao longo do percurso até o consumo. Dessa forma, a Portaria 518 estabelece, em seu artigo 13, que após a desinfecção a água deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L, sendo obrigatória à manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L em qualquer ponto da rede



de distribuição, com a finalidade de garantir a potabilidade da água em toda a extensão da rede de distribuição.

Dacach (1990) cita que água deve apresentar um teor de cloro residual, entre 0,2 e 1,0 mg/L, até 20 minutos após ter sido aplicado o desinfetante, decrescendo, por ser volátil, esse teor deste ponto em diante até desaparecer.

Com a finalidade de prevenir e reduzir a incidência da cárie dentária, especialmente no período de formação dos dentes é aplicado dosagens adequadas um composto de flúor nas águas distribuídas para abastecimento público.

De acordo com a Lei Federal nº 6.050, de 24 de maio de 1974 (regulamentada pelo Decreto Federal nº 76.872, de 22 de dezembro de 1975), todas as estações de tratamento de água são obrigadas a realizar a fluoretação na água tratada.

Segundo Vianna (2002), existem diversos compostos de flúor que podem ser utilizados na fluoretação, são eles: fluorsilicato de sódio, fluorsilicato de amônio, fluoreto de sódio, fluorita (todos sólidos), ácido fluorídrico e ácido fluorsilícico (líquidos).

Após passar por todos os processos de tratamento químico, a água fica agressiva e geralmente mais corrosiva, o que requer a correção do pH (com aplicação de cal hidratada, carbonato de sódio ou hidróxido de sódio) para neutralizar a acidez da água e proteger as tubulações contra a corrosão. O controle de corrosão ocorre com a alcalinização da água para remover o gás carbônico livre e para provocar a formação de uma película de carbonato na superfície interna das canalizações, que protege a tubulação contra incrustações (RICHTER E AZEVEDO NETTO, 2002).

Verifica-se que na maioria dos processos de tratamento de água utiliza-se a aplicação de produtos químicos, que tem por finalidade melhorar a eficiência das etapas do tratamento de água e, conseqüentemente, a qualidade da água final. No Quadro 2 é mostrado um resumo dos principais produtos químicos utilizados nos processos de tratamento de água e suas finalidades.

Processos de tratamento de água	Produtos químicos	Finalidades
Mistura rápida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sulfato de alumínio*</li> <li>• Cloreto férrico</li> <li>• Sulfato ferroso</li> <li>• Sulfato férrico</li> <li>• Alcalinizantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Neutralizar as cargas das partículas naturais</li> <li>○ Corrigir pH</li> </ul>
Desinfecção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cloro gasoso*</li> <li>• Hipoclorito de sódio</li> <li>• Hipoclorito de cálcio</li> <li>• Ozônio</li> <li>• Raios ultravioletas</li> <li>• Amônia hidratada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Inativar microrganismos</li> </ul>
Fluoretação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluorsilicato de sódio*</li> <li>• Fluorsilicato de amônio</li> <li>• Fluoreto de sódio</li> <li>• Ácido fluorsilícico</li> <li>• Fluoreto de cálcio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Prevenir a incidência da cárie dentária</li> </ul>
Ajuste do pH e controle da corrosão	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cal hidratada*</li> <li>• Carbonato de cálcio</li> <li>• Hidróxido de sódio</li> <li>• Polifosfato de sódio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Neutralizar a acidez da água</li> <li>○ Proteger as tubulações contra a corrosão</li> </ul>

\* os mais utilizados

Quadro 2 - Principais produtos químicos utilizados nos processos de tratamento de água

Fonte: Adaptado de BARROS *et al.* (1995)

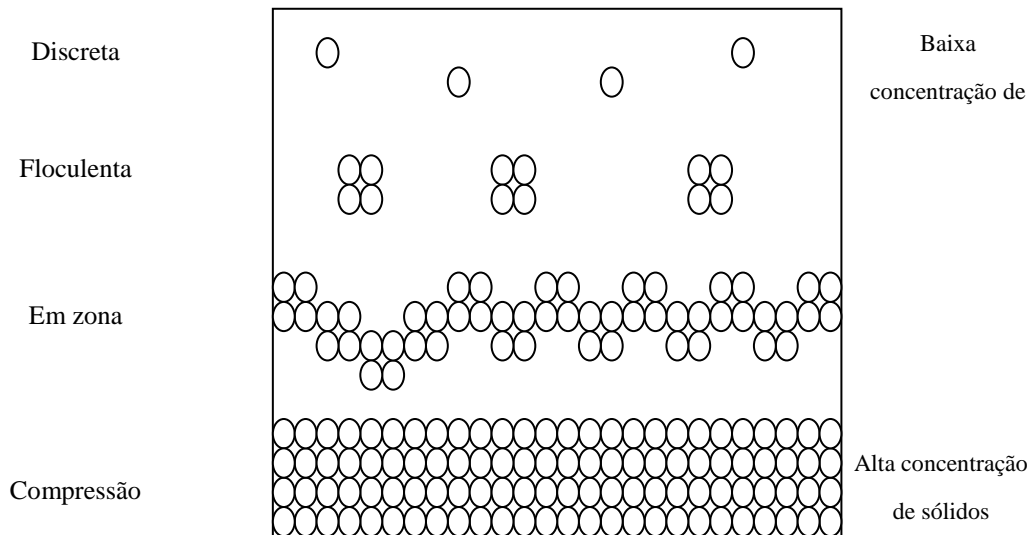
## 5.2 TEORIA DA SEDIMENTAÇÃO

Segundo Teixeira (1999), as teorias de sedimentação, elaboradas por vários pesquisadores (Stokes, Hazen e Camp), são válidas somente para partículas discretas, em condições ideais de escoamento. Porém, são de grande importância para o entendimento de todo o processo de sedimentação.

Metcalf & Eddy (1991); AWWA (1990) citam que podem ocorrer quatro tipos de sedimentação, dependendo das classes das partículas e suas respectivas concentrações, a saber:

- **Sedimentação de partículas discretas:** são aquelas que mantêm sua individualidade, portanto não mudam de tamanho, forma e massa específica durante o processo de sedimentação; ocorre em caixa de areia e pré-sedimentação;
- **Sedimentação de partículas floculentas:** são aquelas que se aglomeram durante a sedimentação, mudando assim o seu tamanho, forma e velocidade de sedimentação, ocorre em decantadores primários;
- **Sedimentação em zona:** a concentração neste tipo de sedimentação é elevada, fazendo com que as partículas fiquem cada vez mais próximas uma das outras. Portanto, as partículas sedimentam juntas, como uma espécie de bloco, possibilitando a formação de uma interface sólido-líquido, ocorre em decantadores secundários de ETAs e ETEs e em adensadores por gravidade;
- **Sedimentação por compressão:** a concentração neste tipo de sedimentação é ainda mais elevada que na sedimentação em zona, as partículas podem estabelecer ponto de contato entre si, viabilizando a transmissão de forças mecânicas. Assim as camadas inferiores passam a ser compactadas pelo peso das camadas superiores, ocorre no fundo dos decantadores secundários de ETEs e em adensadores por gravidade.

A representação esquemática das relações entre os tipos de sedimentação e concentrações de sólidos é apresentada no Esquema 4.



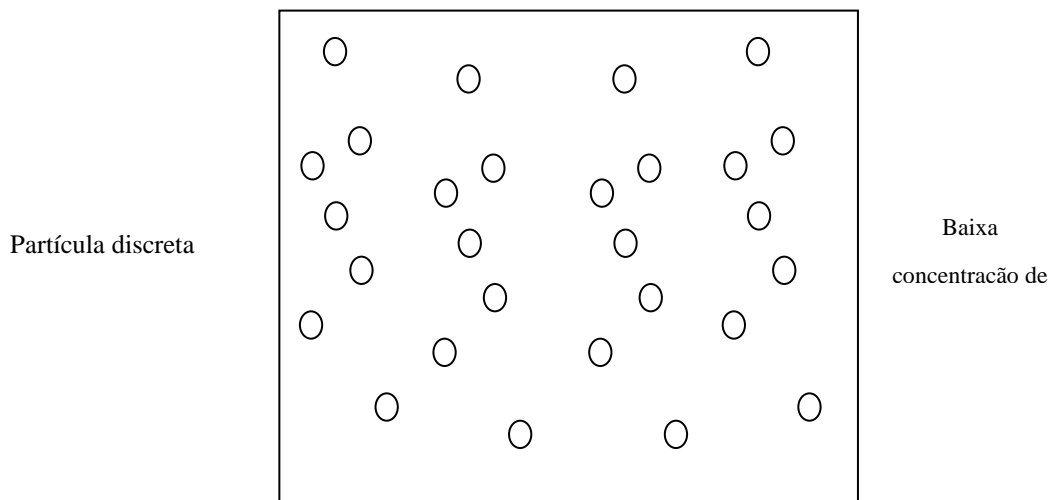
Esquema 4 – Relação entre os processos de sedimentação e a concentração dos sólidos

Fonte: PEREIRA (2001)

Geralmente, durante o processo de sedimentação pode ocorrer mais de um tipo de sedimentação ao mesmo tempo (TEIXEIRA, 1999). Nesse estudo serão mencionadas apenas as sedimentações das partículas discretas, floculentas e em zona, por serem os tipos que ocorrem nos processos de tratamento de água. Além disso, serão apresentadas as zonas que compõem um decantador.

### 5.2.1 Sedimentação de Partículas Discretas

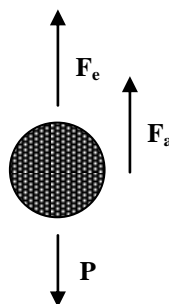
Segundo Valencia (1992), no processo de sedimentação de partículas discretas não há interação entre as partículas e entre essas e o fluido, ocorre em suspensões com baixa concentração de sólidos. Aplica-se principalmente em unidades de pré-sedimentação de ETAs ou em caixas de areia de ETEs. Segundo Fair, Geyer e Okun (1973), partícula discreta é aquela que, durante a sedimentação, não altera seu tamanho, forma ou peso. No Esquema 5 é mostrada a sedimentação de partículas discretas.



Esquema 5 – Processo de sedimentação das partículas discretas

Fonte: PEREIRA (2001)

A sedimentação de partículas discretas pode ser analisada por meio das leis clássicas de Newton e Stokes. De acordo com a teoria de Newton, a velocidade de sedimentação é fundamentada no fato de que qualquer partícula não coloidal, suspensa em um meio líquido em repouso e de menor massa específica será acelerada pela ação da gravidade até que as forças de resistência viscosa sejam iguais à resultante do peso efetivo da partícula. A partir daí, a sua velocidade descendente torna-se constante e passa a denominar-se velocidade terminal (Di Bernardo, 1993). No esquema 6 é mostrado a sedimentação de uma partícula discreta, esférica, sendo submetida a forças atuantes.



$F_e$  = Força de empuxo

$F_a$  = Força de arrasto

$P$  = peso da partícula

Esquema 6 – Forças atuantes durante a sedimentação de uma partícula discreta

Fonte: Direta

Quando submersa na massa líquida, a partícula discreta tem seu peso e o empuxo definidos pelas equações:

$$P = \rho_s \cdot g \cdot V \quad (1)$$

$$F_e = \rho \cdot g \cdot V \quad (2)$$

em que:

P: peso da partícula (N)

$F_e$  = Força de empuxo (N)

$\rho_s$ : massa específica real da partícula ( $\text{kg/m}^3$ );

$\rho$ : massa específica do fluido ( $\text{kg/m}^3$ );

g: aceleração da gravidade ( $\text{m/s}^2$ );

V: volume da partícula ( $\text{m}^3$ ).

O peso aparente da partícula discreta faz com que ela sedimente. Porém, a medida que sua velocidade torna-se maior, mais se faz sentir uma força frenante, causada pelo movimento da partícula na água, denominada força de arrasto, que é determinada pela seguinte equação:

$$F_a = C_d \cdot A \cdot \rho \cdot \frac{V_s^2}{2} = F_a = C_d \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \rho \cdot \frac{V_s^2}{8} \quad (3)$$

em que:

$F_a$ : força de arrasto

$C_d$ : coeficiente de arrasto ou coeficiente de arrasto de Newton (adimensional);

A: área de seção transversal da partícula ( $\text{m}^2$ );

$\rho$ : massa específica do fluido ( $\text{kg/m}^3$ );

d: diâmetro da partícula (m);

$V_s$ : velocidade de sedimentação da partícula (m/s).

A partir do momento em que a força de arrasto iguala-se ao peso aparente da partícula, a velocidade de sedimentação torna-se constante, sendo denominada de velocidade terminal de sedimentação da partícula e expressa por:

$$C_d \cdot A \cdot \rho \cdot \frac{V_t^2}{2} = (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot V \quad (4)$$

ou

$$V_{ts} = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho) \cdot V}{C_d \cdot \rho \cdot A}} \quad (5)$$

em que:  $V_{ts}$  = velocidade terminal de sedimentação da partícula

No caso de partículas esféricas de diâmetro  $d_p$ , tem-se que:

$$V_{ts} = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho) \cdot d_p}{3 \cdot C_d \cdot \rho}} \quad (6)$$

Segundo Di Bernardo (1993), as equações da força de arrasto e velocidade terminal de sedimentação da partícula são válidas apenas para valores elevados de  $Re$ , pois, para valores menores, o coeficiente  $C_d$  deixa de ser constante, como suposto por Newton. Para valores de  $Re \leq 1$  predomina a ação da viscosidade durante a sedimentação da partícula, já que as forças de inércia tornam-se desprezíveis.

O cálculo da velocidade terminal de sedimentação da partícula é função do coeficiente de arrasto, em que esse coeficiente varia com o regime de escoamento e com a forma da partícula, e está relacionado com o número de Reynolds (TEIXEIRA, 1999).

$$Re = \frac{\rho \cdot V_{ts} \cdot d_p}{\mu} \quad (7)$$

em que:  $\mu$  = viscosidade dinâmica do fluido ( $m^2/s$ )

Para o caso de partículas esféricas em escoamento laminar ( $10^{-4} < Re < 0,2$ ), obtendo para  $C_d$  o valor de  $24/Re$ , Stokes determinou que:

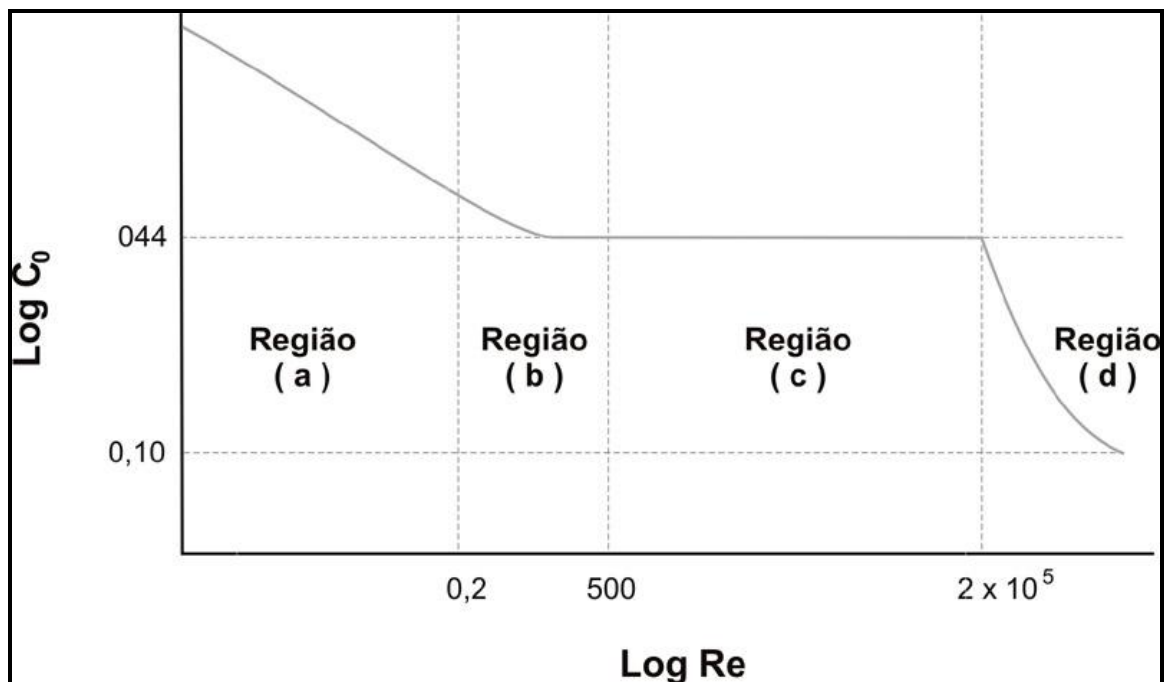
$$F_a = 3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot V_{ts} \cdot d_p \quad (8)$$

Igualando-se as equações (1) e (8), obtém-se que a velocidade terminal para as condições anteriormente citadas é igual a:

$$V_{ts} = \frac{g \cdot (\rho_s - \rho) \cdot d_p^2}{18 \cdot \mu} \quad (9)$$

Essa equação traduz a denominada lei de Stokes.

De acordo com Pearse (1977) apud AWWA (1990), os valores do coeficiente de arrasto variam de acordo com o número de Reynolds, conforme mostrado no Esquema 7 e no Quadro 3.



Esquema 7 – Variação do coeficiente de arrasto ( $C_d$ ) com o número de Reynolds

Fonte: AWWA (1990)



Região	Re	C <sub>d</sub>
a	$10^{-4} < Re < 0,2$	$24/Re$
b	$0,2 < Re < 500-1000$	$24/Re + 3/Re^{0,5} + 0,34$
c	$500-1000 < Re < 2.10^5$	0,44
d	$2.10^5 < Re$	0,10

Quadro 3 – Variação do coeficiente C<sub>d</sub> com o número de Reynolds

Segundo Di Bernardo (1993), da aplicação das leis básicas da sedimentação resulta que a velocidade de sedimentação depende das dimensões, forma e massa específica das partículas. Em uma ETA, dependendo do tipo de coagulante utilizado no tratamento e da qualidade da água bruta, as partículas podem apresentar grande variação de tamanho, forma e massa específica.

De acordo com Cunha (1989) e Di Bernardo (1993), todas as leis de sedimentação, apesar de grande utilidade nas avaliações qualitativas e da intensidade com que cada grandeza influencia o fenômeno, não fornecem parâmetros utilizados em projetos de decantadores de ETAs, em razão das interferências hidráulicas que se originam no escoamento nos decantadores e da enorme diversidade de dimensões e massa específica das partículas presentes na água bruta.

Para Di Bernardo *et al.* (2002), podem ocorrer diversos fatores que reduzem a eficiência da sedimentação, destacando-se:

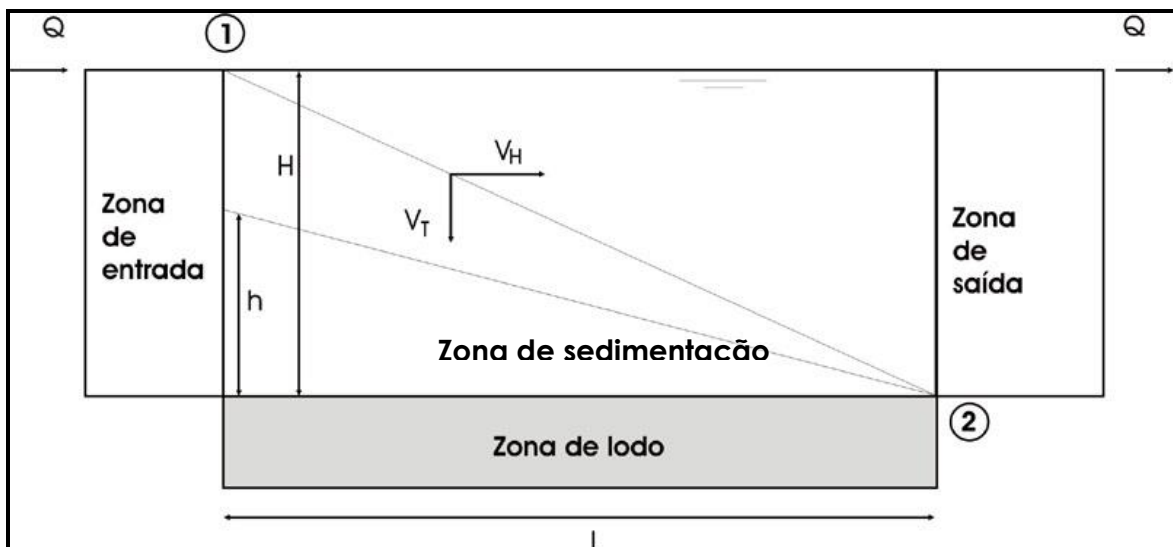
- Má distribuição da vazão total entre as unidades em paralelo;
- Coleta desuniforme da água clarificada;
- Curtos-circuitos hidráulicos;
- Ação dos ventos;
- Formação de correntes de origem térmica ou de densidade;
- Equipamento e métodos inadequados de descarte de lodo; etc.

Dessa forma, modelos matemáticos foram desenvolvidos para descrever o comportamento hidráulico dos decantadores e avaliar as características de sedimentabilidade das partículas.

O comportamento hidráulico dos decantadores pode ser analisado a partir da teoria de Hazen (1904), que postulou as hipóteses de um decantador ideal, de fluxo horizontal.

Com base nas hipóteses de Hazen (1904), Camp (1946) definiu o decantador ideal (Esquema 8) como sendo um decantador hipotético em que a sedimentação se realiza exatamente da mesma maneira que em um recipiente de igual profundidade que contenha um líquido em repouso. O decantador ideal possui as seguintes características:

- O decantador possui quatro zonas independentes (entrada, saída, sedimentação e de lodo);
- O regime de fluxo é laminar na zona de sedimentação;
- A direção do fluxo é horizontal e a velocidade é a mesma em toda a zona de sedimentação;
- A concentração de partículas é uniforme;
- Não há suspensão de partículas sedimentadas no fundo do tanque (zona de sedimentação).



Esquema 8 – Decantador ideal com zonas de sedimentação

Fonte: Adaptado de TEIXEIRA (1999)

Admitindo que a trajetória de uma partícula de velocidade terminal de sedimentação  $V_{ts}$  (velocidade crítica) ocorre entre os pontos 1 e 2, e que o intervalo de tempo que essa partícula tem para sedimentar é numericamente igual ao tempo que ela leva para percorrer a zona de sedimentação, têm-se:

$$T_t = H/V_{ts} \quad (10)$$

$$T_d = L/V_H \quad (11)$$

em que:

$T_t$ : tempo teórico que uma partícula discreta leva para sedimentar;

$T_d$ : tempo em que a partícula discreta leva para percorrer o comprimento da zona de sedimentação (tempo médio de detenção);

H: profundidade útil da zona de sedimentação (m);

$V_{ts}$ : velocidade terminal de sedimentação (m/s);

L: comprimento da zona de sedimentação (m);

$V_H$ : velocidade média de escoamento (m/s).

Então, tem-se que:

$$V_{ts} = \frac{V_H \cdot H}{L} \quad (12)$$

Sendo a velocidade horizontal igual a:

$$V = \frac{Q}{B \cdot H} \quad (13)$$

em que:

B: largura do decantador (m);

Q: vazão ( $m^3/s$ ).

Tem-se que:

$$V_{ts} = \frac{Q}{A} \quad (14)$$

em que: A = área superficial do decantador ( $m^2$ ).

A velocidade  $V_{ts}$  é conhecida como taxa de escoamento superficial e é, usualmente expressa em  $m^3/m^2.dia$ . Todas as partículas com velocidade de sedimentação igual ou superior a  $V_{ts}$  serão removidas pelo decantador. Entretanto, partículas de velocidades de sedimentação inferiores a  $V_{ts}$  poderão ser removidas ou não, dependendo da profundidade útil em que se encontrarem ao entrarem na zona de sedimentação. Porém, se essas partículas estiverem a uma profundidade  $(H-h)$  serão removidas.

Assim, a eficiência de remoção das partículas com velocidade de sedimentação menor ou igual a  $V_{ts}$  será proporcional a relação entre as alturas  $h$  e  $H$  ou  $V_t$  e  $V_H$ , uma vez que a partícula atingiria o fundo do decantador se ela entrasse na zona de sedimentação a uma altura  $(H-h)$  a partir da superfície da lâmina líquida.

De acordo com Di Bernardo (1993) e Valencia (1992), a teoria de Hazen foi muito importante para demonstrar que a eficiência de remoção de partículas discretas é função da área superficial do tanque e independe de sua profundidade e do tempo de detenção hidráulica. Hazen percebeu que os decantadores poderiam aumentar a eficiência de remoção, caso houvesse uma subdivisão horizontal do tanque. Além disso, ele verificou através de ensaios e construção de um gráfico da velocidade de sedimentação em função da concentração de partículas, que seria possível prever o desempenho dos decantadores com respeito à remoção de partículas discretas de diferentes velocidades de sedimentação.

No caso dos decantadores reais, as correntes de fluxo de água desempenham papel predominante na redução da eficiência das condições ideais de rendimento (AWWA,1975). As principais são:

- Correntes superficiais: causadas pelo vento, provocando desvio do fluxo superficial;
- Correntes de convecção: causadas pela diferença de temperatura, provocando curto-circuito;
- Correntes de densidade: causadas pela diferença de densidade do líquido afluente com o que se encontra no decantador;
- Correntes de refluxo: provocadas pela inércia do líquido afluente.

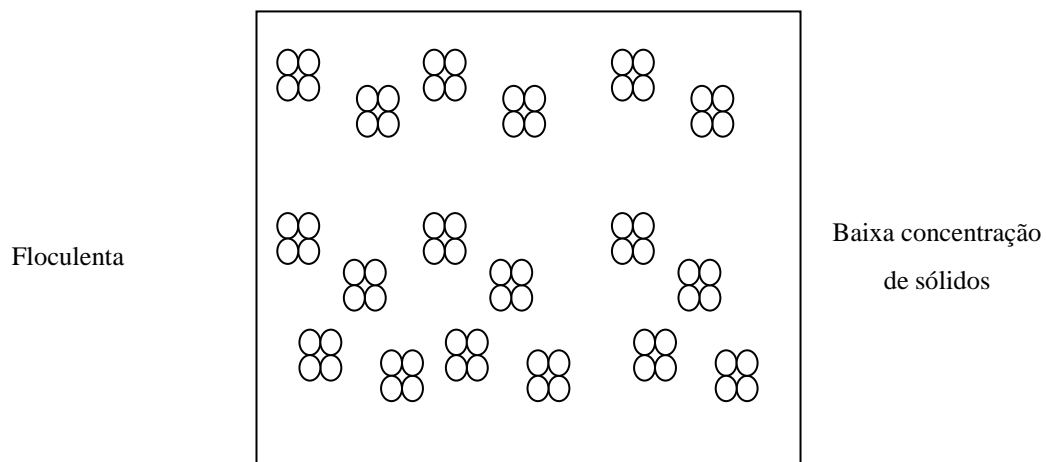
Essas correntes produzem turbulência que gera mistura das partículas em suspensão, produzindo curto-circuito. Portanto, o efeito das correntes reduz a eficiência do decantador em relação ao previsto na teoria da sedimentação.

Segundo Di Bernardo (1993), a teoria de Hazen teve grande importância para um melhor entendimento da teoria sedimentação, porém coube a Camp, em 1946, a proposição de metodologia para análise das características de sedimentabilidade das partículas floculentas e de modelo matemático para transformar os resultados obtidos em parâmetros aplicáveis ao estudo da sedimentação nos decantadores ideais.

O mesmo autor relata que, no caso de decantador real, para suspensões de partículas floculentas em decantadores com escoamento contínuo, a área superficial e a taxa de escoamento superficial são parâmetros mais importantes que a profundidade e o tempo médio de detenção hidráulica.

### 5.2.2 Sedimentação de Partículas Floculentas

Segundo Valencia (1992), partículas floculentas são aquelas que se aglomeram durante a sedimentação, com conseqüente aumento de seu tamanho, forma e, portanto maior velocidade de sedimentação. Ocorre em decantadores de ETAs e decantadores secundários de ETEs. No Esquema 9 é mostrada a sedimentação de partículas floculentas.



Esquema 9 – Processo de sedimentação das partículas discretas

Fonte: PEREIRA (2001)

De acordo com Droste (1997), a trajetória das partículas floculentas é curvilínea porque elas passam a ganhar maior velocidade à medida que aumentam de tamanho e peso, conforme as partículas vão se agregando. Dessa forma, todo o processo depende das características de floculação e sedimentação das partículas.

As partículas floculentas são aquelas que tendem a se aglomerar devido a três fatores:

- Diferenças na velocidade de sedimentação de duas partículas, de forma que a partícula de maior velocidade alcance a de menor velocidade;
- Gradiente de velocidade no líquido, no qual as partículas imersas no meio de mais alta velocidade se unem às de menor velocidade;
- Capacidade de agregação.

Devido às dificuldades de se prever, por meio de modelação matemática, as características de sedimentação de partículas floculentas, são empregados ensaios em coluna de sedimentação para determinação dos parâmetros de projeto.

Di Bernardo *et al.* (2002) recomendam que se deve utilizar colunas de sedimentação no estudo da sedimentabilidade de suspensões floculentas. Contudo, os autores ressaltam que as colunas de sedimentação não permitem a reprodução fiel do que ocorre nas ETAs, uma vez que não refletem alguns fenômenos característicos que ocorrem na unidade de sedimentação, tais como a ruptura dos flocos, devido ao escoamento da água; curtos-circuitos; ressuspensão do lodo; correntes de densidade; efeitos de ventos e falhas operacionais.

De acordo com Metcalf & Eddy (1991), a coluna de sedimentação pode ser de qualquer diâmetro, mas deverá ter altura igual à profundidade do decantador estudado. Porém, resultados satisfatórios podem ser obtidos em colunas construídas de tubo plástico de diâmetro igual a 150 mm e altura igual a 3 m. Pontos de amostragem devem ser instalados a cada 0,60 m. A suspensão deve ser introduzida na coluna com cuidado de modo que não haja rompimento dos flocos e se assegure a sua uniformidade em toda a coluna. Além disso, é necessário que se monitore a temperatura durante todo o teste, de modo que a temperatura fique uniforme

evitando a ocorrência de correntes de convecção. Na Fotografia 2 é apresentada uma coluna de sedimentação.



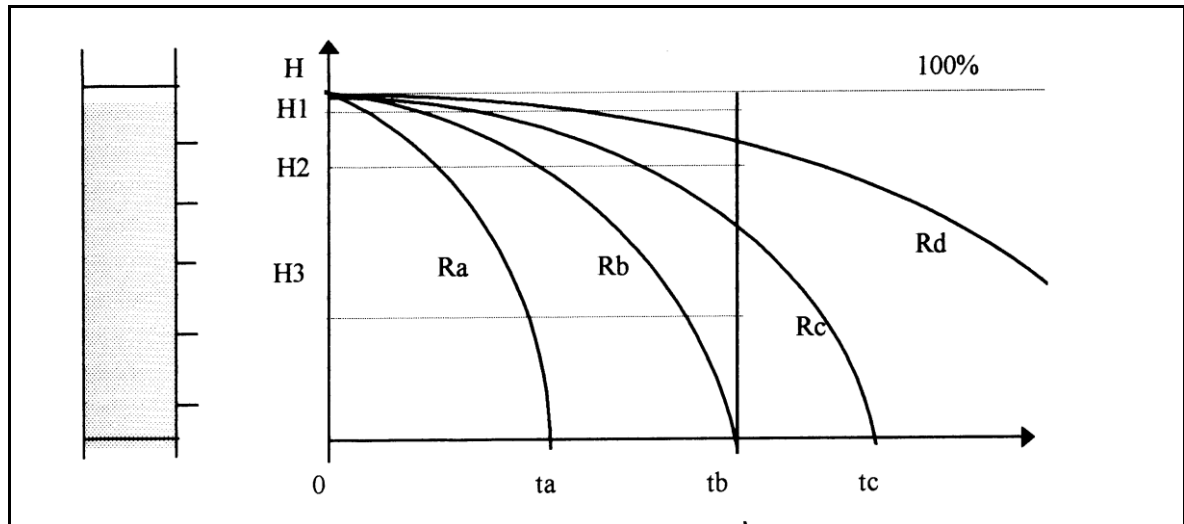
Fotografia 2 – Coluna de sedimentação

Fonte: Visita Técnica – LCR (2003)

No ensaio são retiradas amostras em diferentes pontos de amostragem, com intervalos de tempo pré-determinados, com a finalidade de:

- a) Determinar os sólidos suspensos;
- b) Calcular a remoção percentual de partículas para cada amostra analisada;
- c) Plotar os resultados em gráfico de profundidade em função do tempo de sedimentação (Esquema 10);

- d) Marcar no gráfico, no ponto correspondente à elevação e ao tempo de coleta de amostra, o valor obtido para remoção percentual;
- e) Traçar, entre os pontos marcados, curvas de iguais percentuais de remoção.



Esquema 10 – Curvas de isoconcentração para a determinação da percentagem de remoção total de partículas na sedimentação floculenta

Fonte: METCALF & EDDY (1991)

### 5.2.3 Sedimentação em Zona

Este tipo de sedimentação ocorre quando a concentração de sólidos no sistema é elevada e as interações entre as partículas tendem a diminuir a velocidade de sedimentação de cada partícula (MONTGOMERY, 1985). Dessa forma, as partículas sedimentam como se fossem um bloco rígido, formando uma interface sólidos-líquido.

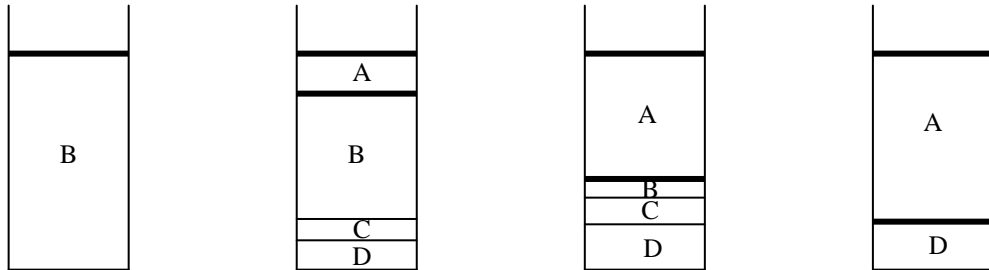
Em 1952, KYNCH formulou a teoria sobre sedimentação na qual admitiu que a velocidade de sedimentação das partículas era função da concentração de sólidos em suspensão.

Segundo COE e CLEVENGER, citado por Masini (1995), quando uma coluna com uma determinada concentração de sólidos é deixada em repouso (Esquema 11), um líquido clarificado aparece no topo da coluna (zona A) e um sedimento denso no fundo (zona D). A interface entre a zona A e B move-se de maneira uniforme para o fundo da proveta, sendo que a interface entre a zona C e D move-se



para cima a medida que os sólidos sedimentam. Durante o processo a zona D é comprimida até que a concentração máxima de sólidos seja atingida.

Eventualmente as interfaces entre as zonas podem se encontrar e as zonas B e C desaparecerem.



A ⇒ Líquido clarificado.

B ⇒ Região de concentração constante.

C ⇒ Região de concentração variável.

D ⇒ Região de compactação.

Esquema 11 – Ensaio mostrando os estágios de sedimentação

Fonte: (DECANTAÇÃO)

O comportamento das suspensões em regiões de sedimentação por zona foi analisado de forma empírica. No Quadro 4 são apresentadas as equações mais usadas para se prever o comportamento da velocidade de sedimentação em relação à concentração de sólidos.

Equação	Fonte
$V = A.e^{-Bx}$	Gregory (1979) apud AWWA (1990)
$V = A.x^{-B}$	Montgomery (1985)

Quadro 4 – Equações mais utilizadas para se prever o comportamento da velocidade de sedimentação em relação à concentração de sólidos

Fonte: Adaptado de TEIXEIRA (1999)

Para a obtenção dos coeficientes A e B são realizados ensaios de sedimentação por batelada que consiste em preencher com lodo uma coluna de 1 m de altura por 10 cm de diâmetro. A coluna deve ser equipada com raspadores que se movimentam a uma velocidade menor que 1 cm/s, e com uma escala milimetrada ao longo de sua altura (APHA, AWWA, WEF, 1995).

Após o preenchimento com o lodo, a coluna é deixada em repouso, registrando-se os valores da altura da interface ao longo do tempo, sendo o mesmo procedimento repetido para os teores de sólidos.

A velocidade de sedimentação deve ser calculada como a tangente do trecho inicial retilíneo. Com os valores da velocidade de sedimentação obtêm-se gráfico da velocidade de sedimentação em função da concentração de sólidos, conforme pode ser observado no Gráfico 1.

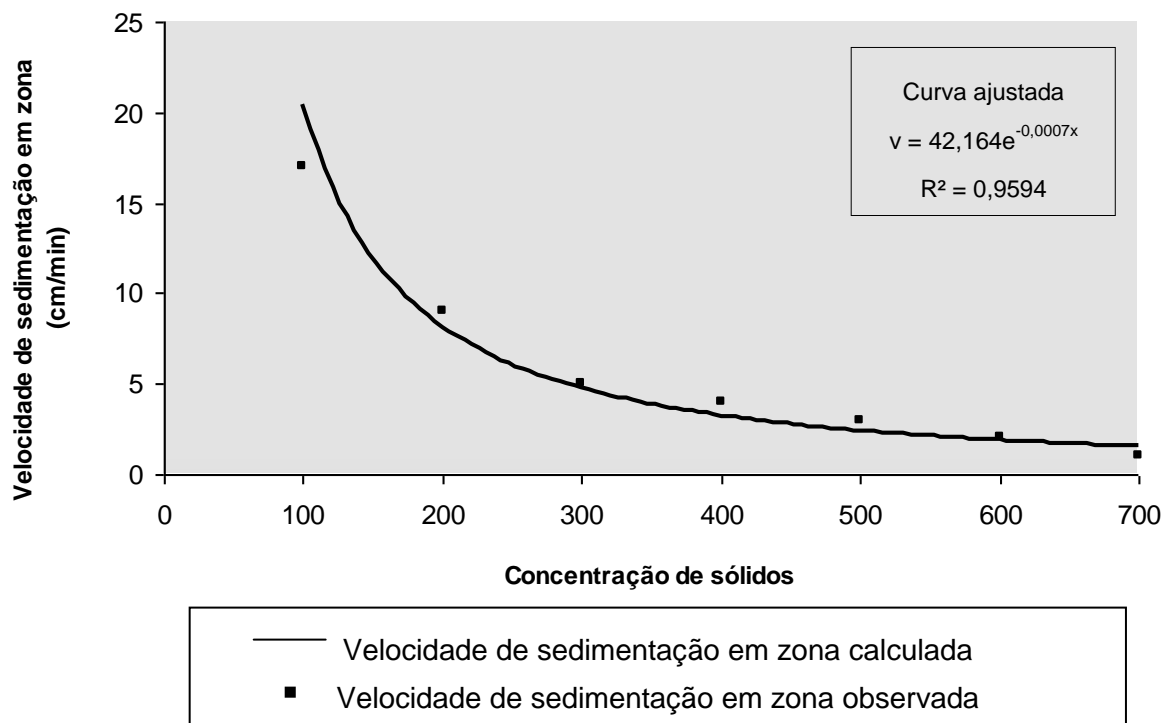


Gráfico 1 – Velocidade de sedimentação em zona em função do teor de sólidos

Fonte: Teixeira (1999)

A equação da velocidade de sedimentação é calculada por meio da linearização da equação:

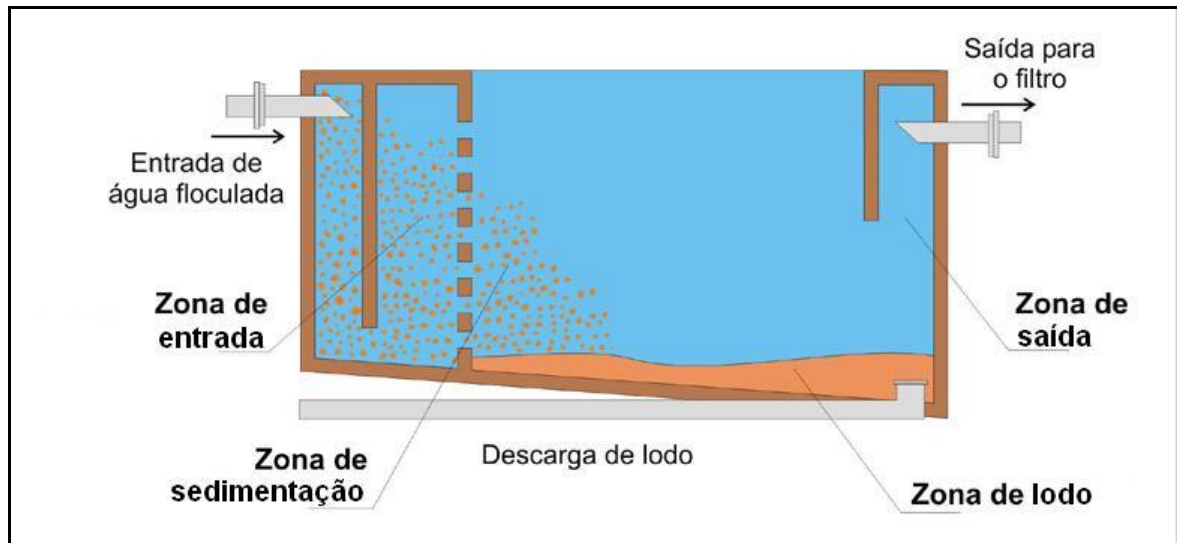
$$\ln V = \ln A - B.x \quad (15)$$

Os coeficientes A e B são determinados através da curva de regressão linear dos pontos obtidos nos ensaios de sedimentação em batelada.

#### 5.2.4 Zonas de um Decantador

De acordo com vários pesquisadores (Leme, 1979; Di Bernardo, 1993; Jordão e Pessoa, 1995; Valencia, 1992; entre outros), o decantador ideal apresenta quatro zonas distintas com funções características (Esquema 12), conforme disposto a seguir:

- Zona de entrada: destinada a distribuir uniformemente o afluente na seção transversal do decantador;
- Zona de sedimentação: nessa zona a características hidráulicas do escoamento e a concentração de partículas em suspensão de mesmo tamanho é uniforme, permitindo sua deposição;
- Zona de saída: destinada a coletar uniformemente a água decantada
- Zona de lodo: destinada a acumular as partículas sedimentadas. Essa zona não sofre influencia da corrente de água do decantador em condições normais de operação.



Esquema 12 – Zonas que compõe um decantador ideal

Fonte: (MÉTODOS)

A seguir serão descritas cada uma dessas zonas para o caso de decantadores convencionais de fluxo horizontal e decantadores laminares de fluxo ascendente.

#### 5.2.4.1 Zona de Entrada

Normalmente a veiculação da água floculada é feita por meio de um canal equipado com comportas que alimentam os decantadores, sendo esse escoamento perpendicular em relação às entradas. O fluxo de água floculada deve ser o mais uniforme possível na passagem das comportas, de modo que a energia cinética desse fluxo seja dissipada para que a turbulência no tanque seja reduzida.

Richter e Azevedo Netto (2002) citam que o dimensionamento incorreto do canal de acesso de água floculada nos decantadores, que tem como finalidade equalizar o fluxo, tem gerado vários problemas na operação das ETAs, tais como curto-circuito e/ou sobrecarga nos decantadores.

Quando o projeto não é bem elaborado, ou a ETA é construída sem seguir um bom projeto, cabe ao operador da ETA a tarefa de tentar ajustar a vazão por meio da regulação do grau de abertura das comportas, o que, sem dúvida, é uma tarefa bastante difícil, pois o operador precisa ter experiência e sensibilidade para fazer essa operação.

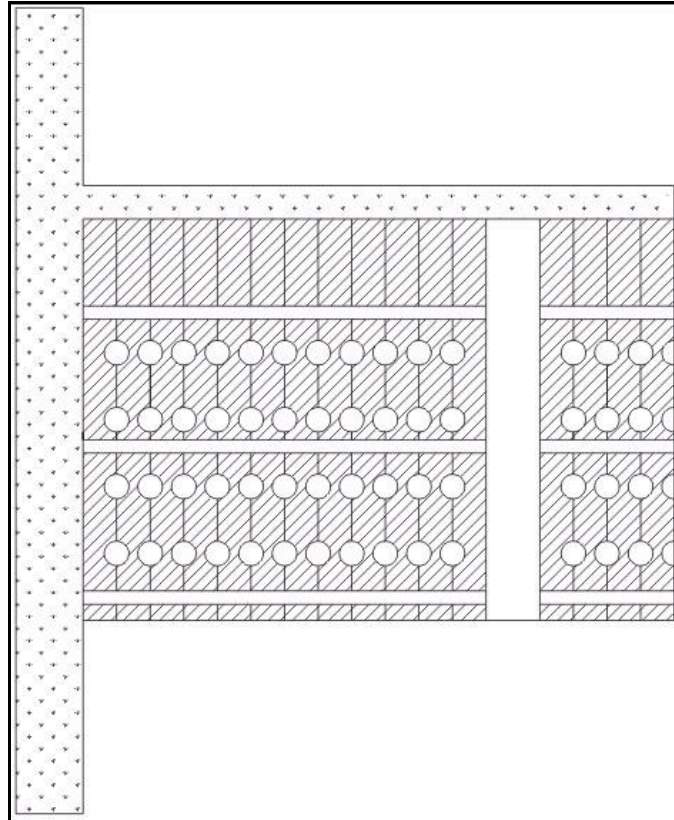
De acordo com Vianna (2002), a melhor forma de garantir a distribuição eqüitativa da água floculada pelas comportas de acesso aos decantadores é fazer com que a velocidade ao longo do canal de acesso se mantenha constante, e sempre superior a 0,10 m/s (para evitar a sedimentação de flocos em seu interior), embora nunca superior a 0,45 m/s (de forma a evitar a quebra dos flocos) e o gradiente de velocidade nesses dispositivos, ser inferior ou igual ao da última câmara de floculação, assim, a seção do canal que alimenta as comportas deve ser decrescente de montante para jusante.

O mesmo autor comenta que nos decantadores convencionais circulares, deve-se evitar a não formação de fluxos preferenciais na distribuição das vazões em cada comporta que alimenta o decantador a partir desse canal. Isso pode ser conseguido encaminhando toda a vazão a ser distribuída para um mesmo ponto de onde partem as alimentações destinadas a todos os decantadores.

Nos decantadores laminares a uniformidade com qual a água é distribuída sob os módulos, depende tanto do sistema de saída como do de entrada, por isso, deve se ter muito cuidado quando se for projetar esses elementos (VALENCIA, 1992). Em relação a melhor distribuição das linhas de fluxo no interior do decantador, quanto maior for a distância entre os módulos tubulares e as estrutura de entrada (sob os elementos) e saída (sobre os elementos) dos decantadores, melhores serão os resultados (VIANNA, 2002).

Após passar pelas comportas, a água floculada atravessa uma cortina distribuidora, que tem como objetivo uniformizar o fluxo da água. A finalidade da cortina distribuidora é fazer com que a vazão seja aproximadamente a mesma em todos os orifícios.

As cortinas podem ser construídas de alvenaria, concreto ou madeira, sendo mais comum encontrar nas ETAs, cortinas de madeira de lei. No Esquema 13 é apresentado um modelo de cortina distribuidora para decantadores de seção retangular ou de seção circular.



Esquema 13 – Cortinas distribuidoras de água floculada

Fonte: Direta

Cortinas mal dimensionadas poderão prejudicar a distribuição das vazões, caso a velocidade de passagem da água através dos orifícios seja muito baixa, ou quebrar os flocos, caso essa velocidade seja muito alta.

Vianna (2002) observa que caso seja necessário aumentar a vazão na ETA, é necessário que seja verificado o dimensionamento da cortina, para ver se os diâmetros dos orifícios são compatíveis com a vazão que os atravessará.

Na NBR 12216 (1992), no item 5.10.7, é preconizado as seguintes recomendações, aplicáveis às cortinas distribuidoras:

- Ter o maior número possível de orifícios uniformemente espaçados segundo a largura e a altura útil do decantador: a distância entre os orifícios deve ser igual ou inferior a 0,50m;
- Estar situada a uma distância  $d$  da entrada, calculada por:

$$d = 1,5 \frac{a}{A} H \quad (16)$$

em que:

$a$  = área total dos orifícios, em  $m^2$ ;

$A$  = área da seção transversal do decantador, em  $m^2$ ;

$H$  = altura útil do decantador, em m.

- Gradiente de velocidade nos orifícios igual ou inferior a  $20 \text{ s}^{-1}$ ;
- Quando a parede de cortina tem espessura inferior à dimensão que caracteriza as aberturas de passagem da água, estas devem receber bocais de comprimento pelo menos igual à referida dimensão;
- A câmara de entrada que antecede a cortina deve ser projetada de modo a facilitar a sua limpeza;
- Relação  $a/A$  igual ou inferior a 0,5.

#### 5.2.4.2 Zona de Sedimentação

Alguns fatores devem ser considerados na zona de sedimentação, são eles:

- a) Taxa de escoamento superficial;
- b) Velocidade longitudinal máxima;
- c) Número de decantadores e dimensões;
- d) Tempo de detenção.

##### **a) Taxa de escoamento superficial**

A relação entre a vazão e a área horizontal do decantador é conhecida como taxa de escoamento superficial e é expressa em  $m^3/m^2 \cdot \text{dia}$ , sendo numericamente igual à velocidade crítica de sedimentação.

De acordo com Azevedo Netto (1977), a área dos decantadores é um dos principais fatores e os resultados de operação dependem da relação vazão/unidade de superfície, sendo, atualmente, os decantadores dimensionados com base em taxas de escoamento superficial.

Segundo Richter e Azevedo Netto (2002), a junção de novas tecnologias no tratamento de água (dispersão de reagentes, auxiliares na coagulação, floculação mais eficiente) com o aperfeiçoamento no projeto dos decantadores (redução de espaços perdidos e de correntes prejudiciais) asseguram a possibilidade de adoção de taxas mais elevadas.

Droste (1997) ressalta que as taxas de projeto de decantadores usados no tratamento de água devem considerar a qualidade da água bruta e o tipo de floco formado, os quais são dependentes do coagulante utilizado e da operação da unidade de floculação.

A velocidade de sedimentação teórica, alcançada em ensaios em coluna de sedimentação ou em reatores estáticos, deve ser reduzida para compensar os efeitos adversos que ocorrem nos decantadores (DI BERNARDO, 1993).

Na NBR 12216 (1992) é estabelecido, no item 5.10.4, que a velocidade de sedimentação determinada por meio de ensaios em coluna de sedimentação deve ser multiplicada pelo seguinte fator:

- Estações com capacidade até 1.000 m<sup>3</sup>/dia:  $k = 0,50$ ;
- Estações com capacidade de 1.000 a 10.000 m<sup>3</sup>/dia, em que é possível garantir bom nível de operação:  $k = 0,70$ ; caso contrário,  $k = 0,50$ ;
- Estações com capacidade superior a 10.000 m<sup>3</sup>/dia:  $k = 0,80$ .

A execução de ensaios de sedimentação representa a maneira mais adequada de se obter parâmetros para o projeto de decantadores, porém, em virtude do pequeno tempo concedido para elaboração de projetos, grande parte dos projetistas não executa os ensaios de sedimentação.



Em virtude disso, na mesma norma é estabelecido, no item 5.10.4.1, que não sendo possível proceder ao ensaio de laboratório, as velocidades de sedimentação para o cálculo das taxas de aplicação devem ser determinadas de acordo com as capacidades das estações, conforme é mostrado no Quadro 5.

Vazão (m <sup>3</sup> /dia)	Velocidade de Sedimentação (m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> .dia)	Taxa de Escoamento Superficial (cm/minuto)	OBS
1.000	1,74	25	-
1.000 a 10.000	2,43	35	Bom nível de operação
1.000 a 10.000	1,74	25	Nível de operação ruim
> 10.000	2,80	40	-

Quadro 5 – Velocidade de sedimentação determinada de acordo com a vazão da ETA

Fonte: Adaptado da NBR 12216 (1992)

Na América Latina os decantadores laminares têm sido dimensionados com taxas entre 120 a 185 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, com eficiência de remoção de aproximadamente 90% (VALENCIA 1992).

Na NBR 12216 (1992), no Item 5.10.5.2, é recomendado que em decantadores laminares, a velocidade longitudinal máxima, para fluxo laminar, deva ser de 0,35 cm/s e, para fluxo não laminar, de 0,60 cm/s.

### ***b) Velocidade longitudinal máxima***

É necessário que haja limitação do valor máximo da velocidade longitudinal, para evitar o arrasto e a ressuspensão de flocos já depositados.

Segundo Richter e Azevedo Netto (2002), uma partícula sedimentada no fundo do decantador será arrastada a uma velocidade igual ou superior a:

$$V_o = \left[ \frac{8}{f} \right]^{1/2} \cdot V_{ts} \quad (17)$$

em que:

$V_o$ : velocidade de escoamento longitudinal;

$V_{ts}$ : velocidade terminal de sedimentação;

$f$ : coeficiente de atrito de Fanning.

O mesmo autor explica que se o fluxo é laminar com  $Re < 2.000$ ,  $f = 64/Re$ ; se o fluxo é turbulento, com  $Re \geq 15.000$ , pode-se tomar  $f$  constante e igual a 0,025. Então se tem que:

$$V_o = 18 \cdot V_{ts} \quad (18)$$

Dessa forma, a seção transversal do decantador deve possuir uma área tal que resulte em velocidades inferiores a  $18 \cdot V_{ts}$ . Nos decantadores de fluxo horizontal, recomenda-se que a velocidade de escoamento longitudinal seja inferior a 1,5 cm/s. Já nos decantadores de limpeza manual, essa velocidade deve ser inferior a 0,75 cm/s, sendo preferencialmente inferior ou igual a 0,5 cm/s (RICHTER E AZEVEDO NETTO, 2002).

Na NBR 12216 (1992) é estabelecido, no item 5.9.5.5, que a velocidade longitudinal máxima  $V_o$  não deve ser superior ao valor resultante das expressões:

- $V_o = \sqrt{Re/8} \cdot V_{ts}$ , para fluxo laminar, com  $Re$  menor que 2.000;
- $V_o = 18 \cdot V_{ts}$ , para fluxo turbulento, com  $Re > 15.000$ .

Na mesma norma é acrescentado, ainda, no item 5.10.5.1, que não sendo possível determinar a velocidade longitudinal máxima, em decantadores horizontal convencional, deve ser:

- Em estações com capacidade até 10.000 m<sup>3</sup>/dia, 0,50 cm/s;
- Em estações com capacidade superior a 10.000 m<sup>3</sup>/dia, em que é possível garantir bom controle operacional, 0,75 cm/s e, havendo ainda remoção contínua de lodo por sistemas mecânicos ou hidráulicos, 1,00 cm/s.

O fato de limitar a velocidade longitudinal máxima a um valor adequado, impõe uma condição de profundidade mínima nos decantadores. Geralmente, os decantadores convencionais possuem profundidades que variam de 3,0 a 5,0 m, podendo se adotar profundidades menores caso haja remoção contínua de lodo (RICHTER E AZEVEDO NETTO, 2002; AZEVEDO NETTO, 1977).

### ***c) Número de decantadores e dimensões***

Nas ETAs o número mínimo de decantadores são dois, pois isso possibilita que um dos decantadores seja paralisado para limpeza ou reparos, sem que com isso a estação tenha que ser paralisada.

Os decantadores de fluxo horizontal devem possuir relação apropriada entre o comprimento e a largura. Comprimentos relativamente pequenos dificultam a boa distribuição de água, no entanto, comprimentos grandes podem resultar em velocidades longitudinais elevadas, causando o arrasto das partículas sedimentadas (AZEVEDO NETTO, 1977). Geralmente são aceitos os seguintes limites:

$$2,25 \leq l/b < 10 \quad (19)$$

em que:

l: comprimento do decantador;

b: largura do decantador

Normalmente se usa  $l/b = 3$  e  $4$ .

Geralmente, as dimensões de projeto dos decantadores convencionais com escoamento horizontal das ETAs sem extração mecânica do lodo são fixadas tais que seu comprimento seja de 2 a 5 vezes sua largura e de 2 a 25 vezes sua altura, a qual comumente varia de 3 a 4 m (PÁDUA e DI BERNARDO, 1999).

De acordo com Di Bernardo (1993), as dimensões da unidade de sedimentação estão sujeitas as demais unidades da ETA e do arranjo físico das mesmas. O mesmo autor enfatiza que no projeto de decantadores deve haver uma preocupação com as características das obras de fundação, para que as profundidades das unidades de filtração e de floculação sejam próximas às dos decantadores.

Pádua e Di Bernardo (1999) comentam que quanto menor a altura do decantador convencional, maior o número de interrupções no funcionamento, considerando-se que tal operação não seja realizada mecanicamente.

#### **d) Tempo de detenção hidráulica**

Tempo de detenção ou período de detenção é o tempo necessário que a água precisa permanecer dentro do decantador para que haja a sedimentação das partículas.

O cálculo do tempo de detenção é realizado da seguinte forma:

$$\text{Tempo de detenção hidráulica (horas)} = \frac{\text{volume do decantador (m}^3\text{)}}{\text{vazão (m}^3\text{/s)}}$$

Segundo Azevedo Netto *et al.* (1977), normalmente são adotados os seguintes tempos de detenção (Quadro 6):

<b>Tipos de decantadores</b>	<b>Tempo de detenção</b>
Decantadores convencionais	1 ½ a 3 horas
Decantadores laminares	15 a 60 minutos

Quadro 6 – Tempos de detenção em função do tipo de decantador

Fonte: Adaptado de AZEVEDO NETTO (1977)

De acordo com Di Bernardo (1993), o período de detenção da água no decantador está relacionado à taxa de escoamento superficial e às condições de operação da ETA. No Quadro 7 são mostrados os valores comumente adotados na prática.

<b>Taxa de escoamento superficial (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia)</b>	<b>Tempo de detenção (hora)</b>
15 - 20	3,5 – 4,5
20 - 30	3,0 – 4,0
30 – 40	2,5 – 3,5
40 – 50	2,0 – 3,0
50 - 60	1,5 – 2,5

Quadro 7 – Período de detenção em função da taxa de escoamento superficial

Fonte: DI BERNARDO (1993)

Richter e Azevedo Netto (2002) fazem um resumo, conforme mostra o Quadro 8, dos critérios básicos de dimensionamento para decantadores de fluxo horizontal.

<b>Características da instalação</b>	<b>Taxa de escoamento superficial (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia)</b>	<b>Velocidade longitudinal máxima (cm/s)</b>	<b>Tempo de detenção (horas)</b>
Instalações pequenas, com controle operacional precário.	20 – 30	0,4 – 0,6	3 – 4
Instalações projetadas com nova tecnologia, com controle operacional razoável.	30 -40	0,6 – 0,8 (*)	2,5 – 3,5

Continuação

<b>Características da instalação</b>	<b>Taxa de escoamento superficial (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia)</b>	<b>Velocidade longitudinal máxima (cm/s)</b>	<b>Tempo de detenção (horas)</b>
Instalações projetadas com nova tecnologia, com controle operacional bom.	35 - 45	0,7 – 0,9 (*)	2 - 3
Grandes instalações que utilizam auxiliares de coagulação e possuem controle operacional excelente	40 – 60	0,6 – 1,25 (*)	1,5 – 2,5

(\*) A adoção de valores superiores a 0,75 cm/s implicará necessariamente, na remoção dos lodos depositados, por sistemas mecânicos ou hidráulicos.

Quadro 8 – Critérios básicos para o dimensionamento de decantadores convencionais de fluxo horizontal

Fonte: RICHTER e AZEVEDO NETTO (2002)

#### 5.2.4.3 Zona de Saída

Segundo Richter e Azevedo Netto (2002), a coleta de água decantada, juntamente com os dispositivos que distribuem água floculada aos decantadores, podem determinar o sucesso ou o fracasso do projeto de um decantador. Dessa forma, os autores citam que os dispositivos de coleta de água decantada devem também ser objeto de cuidadoso estudo.

A água decantada é removida dos decantadores vertendo em calhas junto à superfície livre. Pode ser utilizada para a coleta da água decantada tanto a calha coletora como tubulações perfuradas. A utilização de calhas coletoras pode ser feita com ou sem placas contendo vertedores triangulares para que a coleta de água decantada seja uniforme. Essas placas podem ser de resina poliéster, reforçadas com fibra de vidro, ou de alumínio. Na Fotografia 3 é mostrada uma calha coletora contendo vertedores triangulares para coleta de água decantada.



Fotografia 3 – Calhas coletoras de água decantada

Fonte: Visita Técnica – ETA BOLONHA (2003)

As calhas podem ser dispostas paralelas ou perpendiculares à direção do fluxo, devendo ficar o mais próximo possível da saída da unidade e permitir a passagem de dispositivos de limpeza dos decantadores, se for o caso de sua instalação.

De acordo com Azevedo Netto (1977), as calhas coletoras são projetadas para atender às seguintes finalidades:

- Melhorar a distribuição de fluxo;
- Reduzir as velocidades ascensionais da água em direção ao dispositivo de saída do decantador e, conseqüentemente, diminuir o transporte de flocos, reduzir a lâmina vertente e, portanto, o arrastamento de partículas.

Vianna (2002) cita que quanto menor for a lamina d'água sobre a estrutura de coleta, menor será o arraste de flocos que já estejam chegando ao fundo do decantador, tendo como conseqüência, uma água de melhor qualidade. Além disso, calhas afogadas propiciam a quebra dos flocos prejudicando a coleta da água floculada (DI BERNARDO, 1993).

Os decantadores geralmente possuem profundidades entre 2,5 a 4,5 m e taxa de escoamento superficial entre 25 a 30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, com esses valores a carga sobre os vertedores estará compreendida entre 1,1 a 3,3 L/s por metro (RICHTER E AZEVEDO NETTO, 2002). Os autores observam que o valor médio de 2,0 L/s por metro é aplicado à maioria das instalações, com carga aproximada de 30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e profundidade de aproximadamente 3,8 m.

Na NBR 12216 (1992) são apresentas as seguintes considerações, relativas às calhas coletoras de água decantada:

- Item 5.10.8.1: as canaletas de coleta de água decantada devem propiciar escoamento à superfície livre, ter bordas horizontais, ao longo das quais podem existir lâminas sobrepostas ajustáveis, para garantir a coleta uniforme. A colocação das lâminas deve ser feita de modo a impedir a passagem de água nas juntas com as canaletas.
- Item 5.10.8.2: o nível máximo de água no interior da canaleta deve situar-se à distância mínima de 10 cm da borda vertente.
- Item 5.10.8.3: em decantadores convencionais e nos de elementos tubulares de fluxo horizontal, para os quais a velocidade de sedimentação  $v_s$  tenha sido determinada através de laboratórios, à vazão por metro de vertedor ou de tubo perfurado de coleta deve ser igual ou inferior a:

$$q = 0,018.H.v_s \quad (20)$$

em que:

$q$  = vazão, em L/ (s.m);

$H$  = profundidade do decantador, em m;

$v_s$  = velocidade de sedimentação, em m<sup>3</sup> / (m<sup>2</sup>.dia).

- Item 5.10.8.5: não sendo possível proceder a ensaios de laboratório, a vazão nos vertedouros ou nos tubos perfurados de coleta deve ser igual ou inferior a 1,8 L/s por metro.



No caso de decantadores laminares a mesma norma permite que as calhas coletoras trabalhem com vazões coletadas de até 2,5 L/s por metro de borda vertedoura. Nos decantadores que possuem tubos perfurados para coleta de água decantada a norma estabelece que estes devem ser submersos, podendo descarregar em canal ou câmara, preferencialmente em descarga livre; se afogada, a carga hidráulica deve ser uniforme, visando a obter vazões iguais nas saídas do decantador. Na NBR 12216 (1992), no Item 5.10.8.6, é preconizado que à distância entre as canaletas ou tubos de coleta não devem ser superiores a duas vezes a altura livre da água sobre os elementos tubulares.

#### 5.2.4.4 Zona de Lodos

Richter (2001) explica que o lodo de ETA é constituído de água e sólidos suspensos contidos na água bruta, acrescidos de produtos resultantes dos reagentes aplicados à água nos processos de tratamento. As principais unidades geradoras de lodo em uma ETA são os decantadores e os filtros.

De acordo com Pádua e Di Bernardo (1999), o tempo de operação de decantadores convencionais depende basicamente do volume destinado ao armazenamento do lodo, da forma de remoção do lodo e da qualidade da água decantada.

Os mesmos autores citam que durante um certo período, o manto de lodo que se forma na entrada do decantador favorece a flocculação das partículas, porém, conforme aumenta o volume de lodo, inicia-se o arraste excessivo de flocos para as calhas coletoras de água decantada. Além disso, o lodo armazenado nos decantadores por períodos muito longos (acima do projetado) pode ocasionar a redução do volume armazenado de lodo, propiciar maior volume de gases e, conseqüentemente, facilitar a ascensão do lodo.

Dessa forma, um dos aspectos mais críticos nos processos de tratamento de água é o descarte do lodo produzido nos decantadores e filtros (VALENCIA, 1985).

A camada de lodo que se forma no fundo do decantador, proveniente da sedimentação de partículas, é removida através de lavagens ou descargas, que acontecem quando essa camada tornar-se muito espessa, ou quando em processos descontínuos se iniciar a fermentação.

Para facilitar a operação de limpeza é necessário que os decantadores sejam providos de descarga de fundo capaz de permitir o esvaziamento em tempo não muito longo e facilitar a descarga e remoção do lodo (Fotografia 4). Essa remoção pode ser feita manualmente ou por meio de raspadores de lodo, do tipo longitudinal ou rotativo.



Fotografia 4 – Válvulas de descarga de lodo  
Fonte: ETA BOLONHA (2003)

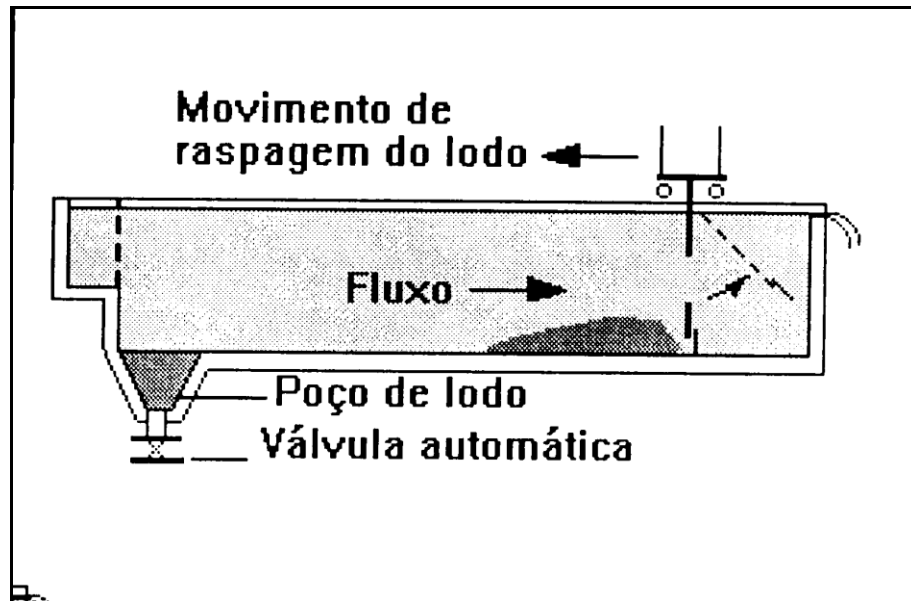
Quando é utilizada a limpeza manual, o decantador deve ser completamente esvaziado, no tempo máximo de 6 horas, para que se possa proceder a sua limpeza com auxílio de jatos d'água, conforme mostrado na Fotografia 5. Essa limpeza pode ser realizada em intervalos que variam de dias a meses, ocorrendo, dessa forma, grande produção de lodo que deve ser armazenado para posterior tratamento. Nesse caso a concentração de sólidos no lodo é geralmente alta, pois a concentração de sólidos no decantador aumenta com o tempo em que fica acumulado, pelo efeito do adensamento acumulado (RICHTER, 2001).



Fotografia 5 – Lavagem do decantador com auxílio de mangueiras de incêndio  
Fonte: Visita Técnica - ETA BOLONHA (2003)

De acordo com Vianna (2002), geralmente nos decantadores convencionais de seção horizontal, a maior parte dos flocos depositam-se no primeiro terço de sua extensão longitudinal. Dessa forma, os projetistas costumam localizar nessa região os dispositivos de descarga de fundo.

No caso de raspadores de lodo do tipo longitudinal, o lodo sedimentado é desviado até um poço de lodo, de onde é descarregado por meio de tubulação dotada de válvula automática, que permanece aberta durante certo tempo para permitir a descarga do lodo, conforme mostrado no Esquema 14. O poço de lodo pode ser localizado na entrada ou na saída do decantador.



Esquema 14 – Raspador de lodo do tipo longitudinal

Fonte: VIANNA (2002)

Os raspadores do tipo rotativo removem o lodo continuamente, encaminhando-o em direção ao poço de lodo, onde no centro é localizado a tubulação de descarga de lodo. Periodicamente, a válvula de descarga é acionada por tempo determinado permitindo a saída do lodo sedimentado no decantador. Na Fotografia 6 é apresentado um decantador constituído de raspadores de lodo do tipo rotativo.



Fotografia 6 - Raspador de lodo do tipo rotativo

Fonte: (DECANTAÇÃO)

Quando o lodo é gerado em decantadores providos de raspadores de fundo, a limpeza é realizada de forma contínua ou semicontínua, sendo o descarte de lodo feito em intervalos que variam de algumas horas. Essas unidades apresentam as menores concentrações de sólidos, aproximando-se dos valores típicos para a água de lavagem dos filtros. (RICHTER, 2001).

Na NB-592 (1989) é recomendado que:

- 1) O decantador com remoção manual de lodo deve apresentar as seguintes características:
  - a) Ser provido de descarga(s) de fundo para que o esvaziamento seja efetuado em um tempo menor que 6 horas;
  - b) A(s) descarga(s) deve(m) ser localizada(s), preferencialmente, na zona de maior acumulação de lodo;
  - c) O fundo deve ter declividade mínima de 5% no sentido do local de descarga;
- 2) Nos decantadores convencionais, com remoção manual de lodo, deve ser prevista altura adicional suficiente para acumular o lodo resultante de 60 dias de funcionamento;
- 3) Deve ser previsto dispositivo de lavagem por jateamento, utilizando-se mangueiras de 13 mm de diâmetro, devendo o jato, atravessar o decantador na sua menor dimensão;
- 4) A remoção hidráulica do lodo acumulado exige o fundo inclinado com ângulo superior a 50° (com o plano horizontal) formando poço em forma de cone ou de tronco de pirâmide invertido, devendo a descarga, ser localizada na sua extremidade inferior;
- 5) A descarga quando automática, deve possuir dispositivos de ajuste do tempo de funcionamento;
- 6) A carga hidráulica para a descarga deve ser superior a 1,5 + hp, sendo hp igual às perdas; caso contrário, deve-se prever a instalação de bombas;

- 7) A tubulação de descarga de lodo, com comprimento inferior a 10 m deve ter diâmetro mínimo de 150 mm; nos demais casos, o diâmetro será de 200 mm;
- 8) A descarga deve possibilitar a observação do lodo drenado;
- 9) Quando da utilização de qualquer tipo de raspador mecânico, as seguintes condições devem ser obedecidas:
  - a) Ter poço de descarga conforme item 4;
  - b) Velocidade máxima de raspador = 30 cm/min;
  - c) Descarga do poço sempre automática e sincronizada com o movimento do raspador.

De acordo com Di Bernardo (1993), a remoção do lodo ocorre de forma contínua se:

- Não pode ser prevista, por questões econômicas ou operacionais, a altura adicional para acumular o lodo resultante de 60 dias de operação nos decantadores convencionais, com remoção manual de lodo, o que acontece com água bruta de alta turbidez, acarretando a produção de grande quantidade de lodo;
- A água bruta possuir teores elevados de matéria orgânica ou receber despejos líquidos, tratados ou não, procedentes de esgoto sanitário ou industrial.

O mesmo autor cita que normalmente são utilizados tempos inferiores a 2 horas para o cálculo da seção da descarga do lodo.

Os decantadores laminares de fluxo ascendente apresentam dificuldades para a remoção do lodo sedimentado, porque, quase sempre, toda a sua superfície encontra-se coberta por módulos tubulares. Dessa forma, o acesso ao fundo do decantador torna-se difícil.



Nesse contexto, foram projetados sistemas de descarga de lodo que possam operar por descarga hidráulica, sem que haja necessidade de se efetuar a remoção manual do lodo sedimentado.

Segundo Vianna (2002), os decantadores laminares podem ter descarga de lodo com fundos simples, fundos múltiplos; sendo esses fundos construídos em forma de troncos de pirâmide invertida (Fotografia 7), cujas paredes possuem inclinação de 50 graus em relação a horizontal, de forma que todo o lodo seja arrastado quando o registro de descarga for acionado.



Fotografia 7 - Cones para acumulação do lodo em formato de tronco de pirâmide invertido

Fonte: Visita Técnica - ETA BOLONHA (2003)

De acordo com Di Bernardo (1993), um decantador de alta taxa só funciona satisfatoriamente quando há distribuição uniforme de água floculada sob os módulos tubulares ou placas, quando há extração apropriada do lodo e quando há coleta uniforme de água decantada.

O funcionamento hidráulico inadequado reduz a eficiência dos decantadores, dificultando a remoção do lodo e aumentando o volume de água parcialmente tratada que é perdida a cada abertura dos registros instalados no fundo dessa unidade (MACHADO *et al.*, 2002).

O mesmo autor observa que, com o advento de técnicas e procedimentos para minimizar os custos operacionais é preciso, em alguns casos, estudar o processo de remoção do lodo dos decantadores, para evitar perda direta de água parcialmente tratada, que resulta em perdas indiretas, como produtos químicos presentes nos flocos sedimentados, energia elétrica utilizada no bombeamento dessa massa líquida descartada e; perdas de horas trabalhadas pelos operadores da ETA.

### 5.3 TIPOS DE DECANTADORES

Os decantadores mais utilizados no tratamento da água são:

- Decantadores convencionais de fluxo horizontal ou vertical;
- Decantadores convencionais de fluxo vertical;
- Decantadores laminar de fluxo ascendente;
- Decantadores laminar de fluxo horizontal.

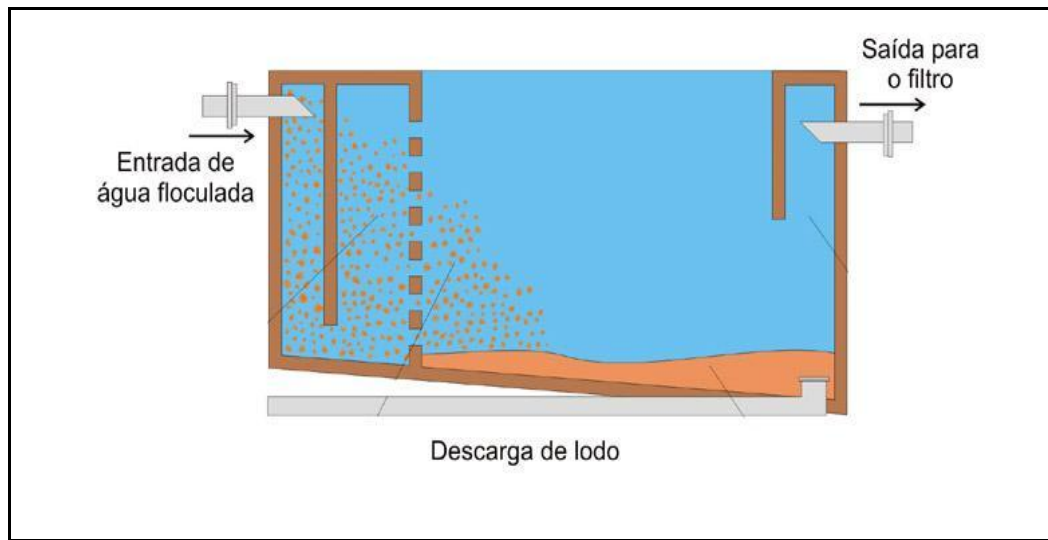
O que difere os decantadores laminares dos decantadores convencionais é que o emprego de módulos ou placas dentro do decantador diminui a turbulência, reduzindo bastante o número de Reynolds. Dessa forma, o decantador laminar apresenta uma maior eficiência em relação ao convencional, sendo ultimamente o mais empregados em ETAs.

#### 5.3.1 Decantadores Convencionais de Fluxo Horizontal

Segundo Di Bernardo *et al.* (2002), os decantadores de ETAs convencionais podem ser do tipo horizontal ou vertical, com seção retangular ou circular, em planta, sendo o mais utilizado nas ETAs o tipo horizontal de seção retangular.

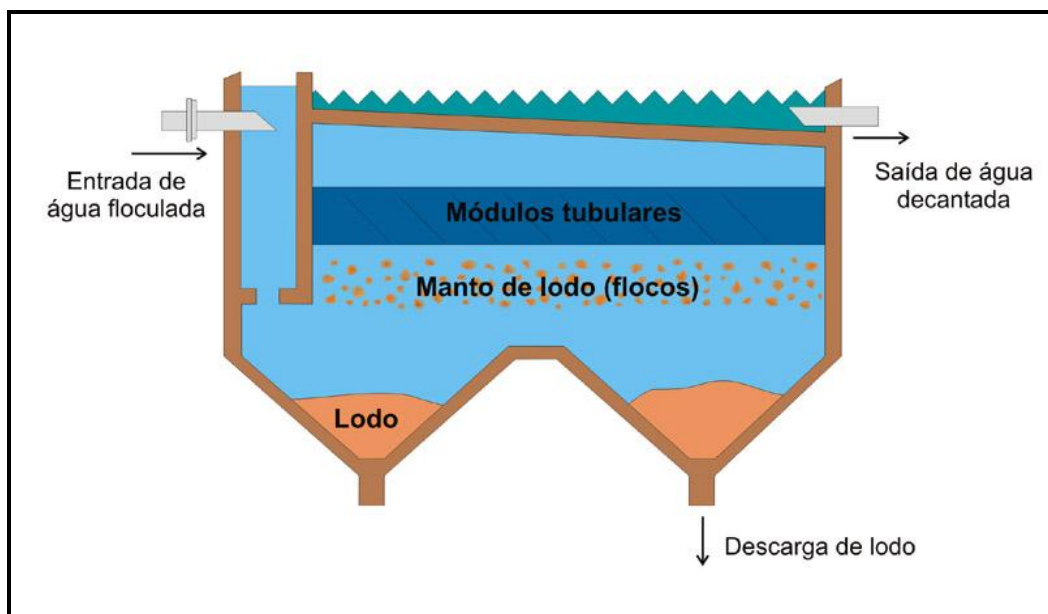


Os decantadores do tipo horizontal possuem boa profundidade e volume, podendo reter a água por longo tempo para a deposição dos flocos. Os decantadores do tipo vertical apresentam menor tempo de retenção da água, necessitando de equipamentos como módulos tubulares que dificultam a saída dos flocos. No Esquema 15 e 16 são mostrados decantadores do tipo horizontal e vertical, respectivamente.



Esquema 15 – Decantador convencional de fluxo horizontal

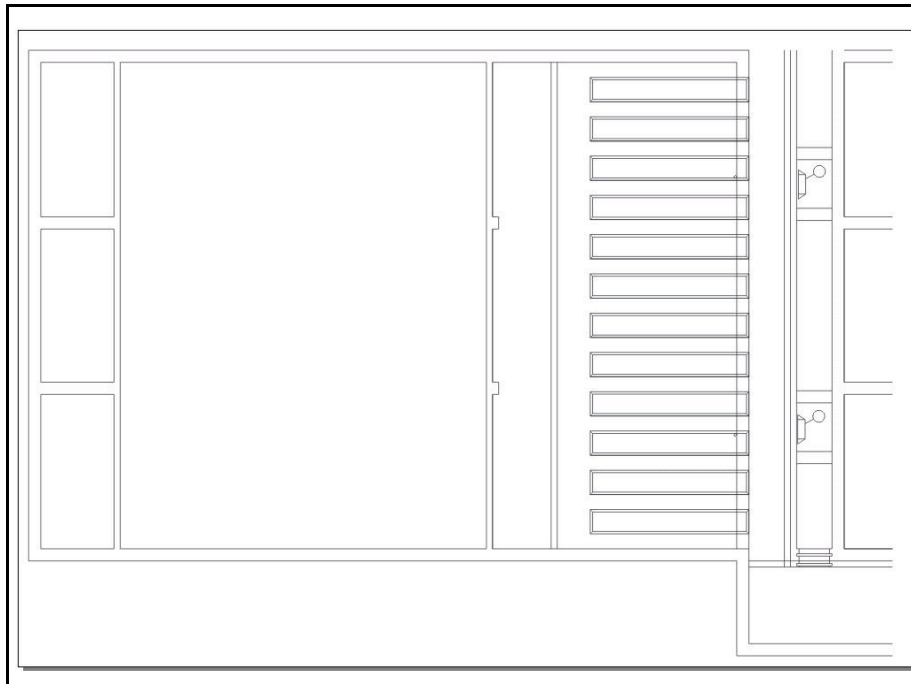
Fonte: (MÉTODOS)



Esquema 16 – Decantador convencional de fluxo vertical

Fonte: (MÉTODOS)

No decantador horizontal de seção retangular, a água floculada é introduzida por meio de comportas, sendo distribuída em toda seção transversal por uma cortina difusora, que tem como finalidade uniformizar o fluxo de água nessa unidade. Em seguida, a água percorre a extensão do decantador com velocidade baixa, até atingir a zona de saída. Na zona de saída, a água decantada é recolhida por meio de calhas coletoras ou tubulações perfuradas. O arranjo típico desse decantador está apresentado em planta no Esquema 17.



Esquema 17 – Planta simplificada do decantador convencional de fluxo horizontal

Fonte: Direta

Segundo Vianna (2002), os decantadores de seção circular, apesar de tão eficientes quanto aos decantadores de seção retangular, são pouco utilizados no Brasil, sendo, mais comum utilizar unidades de formato prismático. O autor menciona que esse tipo de decantador permite, em determinadas situações, que se crie um manto de lodo em seu interior, capaz de melhorar a qualidade da água decantada.

### 5.3.2 Decantadores Convencionais de Fluxo Vertical

Nos decantadores convencionais de fluxo vertical os processos de floculação, sedimentação e armazenamento de lodo se realizam na mesma unidade. Na zona de concentração de lodo, procura-se manter um manto de lodo, que possui a finalidade de aumentar a taxa de escoamento superficial nessa zona, pois a água floculada encontra uma massa de sólidos onde a taxa de encontros é elevada (DI BERNARDO, 1993)

O mesmo autor cita que a taxa de escoamento superficial varia de acordo com a qualidade da água bruta, da eficiência da coagulação e do uso de polímeros, podendo se obter valores entre 50 a 100 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia.

Segundo Valencia (1992), para esses tipos de decantadores obterem um bom desempenho é necessário que se dê especial atenção à forma como se faz à entrada de água bruta, pois, turbulência exagerada pode produzir perturbações que afetam todo o manto de lodo.

O estabelecimento da altura de projeto desses decantadores depende da qualidade desejada para a água decantada e do tempo que se deseja manter o decantador em operação antes de retirá-lo para limpeza (PÁDUA e DI BERNARDO, 1999).

De acordo com Di Bernardo (1993), o desempenho desse tipo de unidade depende da manutenção do manto de lodo, o qual deve ter uma altura compreendida entre 1 e 3 m, e da concentração de sólidos, que varia de 2 a 10%.

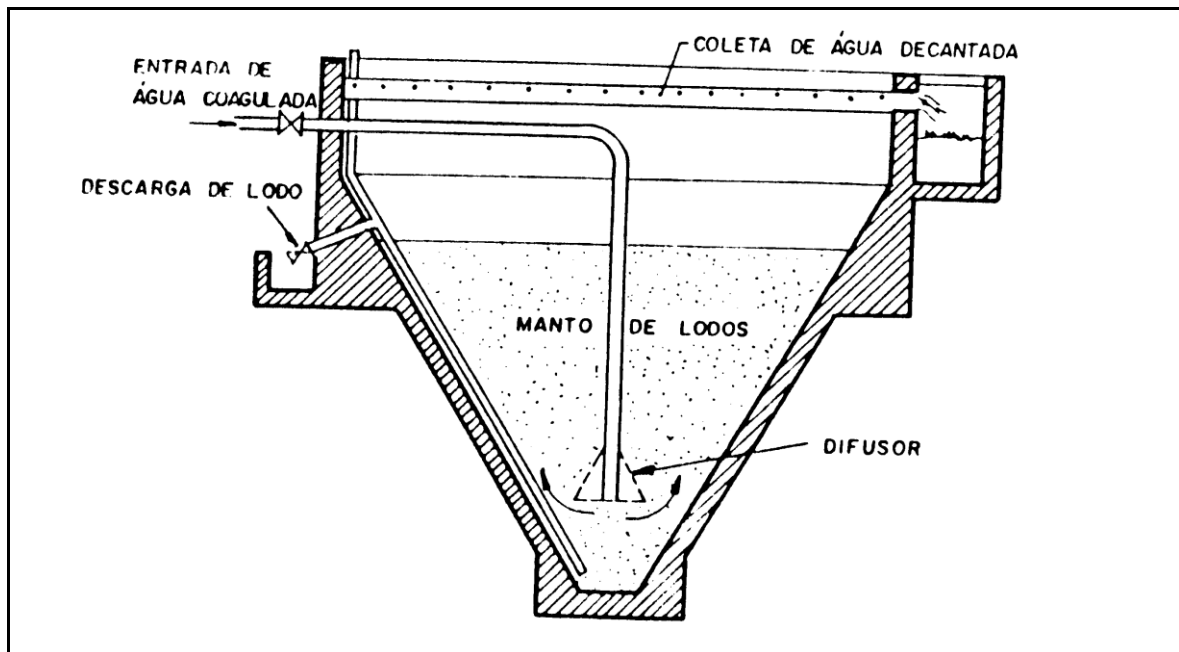
Existem dois tipos de decantadores convencionais de fluxo vertical utilizados para o tratamento da água são:

- a) Os de manto de lodo com suspensão hidráulica;
- b) Os de manto de lodo com suspensão mecânica.

**a) Manto de lodo com suspensão hidráulica**

Esse tipo de decantador consiste em um tanque de fundo cônico ou piramidal invertido, no qual a água flocculada é inserida por meio de tubulação que vai até o fundo da unidade, sendo no cone difusor distribuída a água em fluxo ascendente e com velocidade diminuindo à medida que a área aumenta, o que resulta em um manto de lodo hidraulicamente suspenso.

A saída da água decantada ocorre em tubos perfurados ou canaletas. Alguns decantadores desse tipo possuem vertedor na parte superior do decantador para controlar a altura do manto de lodo, de modo que possam ser extraídos em um canal lateral. O lodo é extraído periodicamente por uma tubulação que vai até o fundo do decantador, sendo que essa extração pode ser manual ou automática. No Esquema 18 é apresentado um decantador de manto de lodo com suspensão hidráulica.

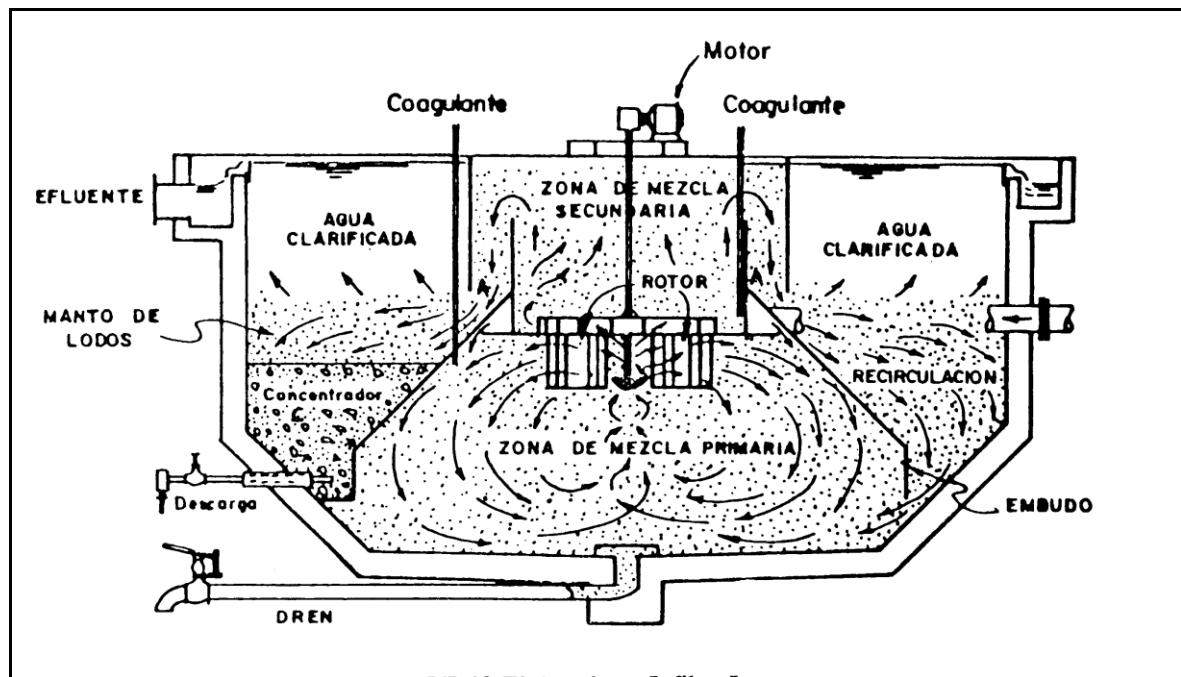


Esquema 18 – Decantador de manto de lodo com remoção de lodo hidráulica

Fonte: DI BERNARDO (1993)

### ***b) Manto de lodo com suspensão mecânica***

Os decantadores com manto de lodo de suspensão mecânica podem ser chamados também de manto de lodo pulsante ou a vácuo. Esse tipo de unidade consiste em um tanque de seção quadrada ou circular, em cujo centro se coloca um cilindro, no qual periodicamente se diminui a pressão interna, de modo que a água suba no interior do cilindro até um certo nível e após o encerramento da sucção o nível da água decresce, causando expansão do manto de lodo, e vertendo o excesso dos mesmos para o concentrados de lodo. A finalidade dessa periódica expansão e contração do manto de lodo é de homogeneizar, evitando as brechas ou canais que permitem a passagem direta das partículas e da sedimentação de partículas mais pesadas no fundo do decantador. No Esquema 19 é mostrado um decantador de manto de lodo com suspensão mecânica.



Esquema 19 – Decantador de manto de lodo com remoção de lodo mecânica

Fonte: VALENCIA (1992)

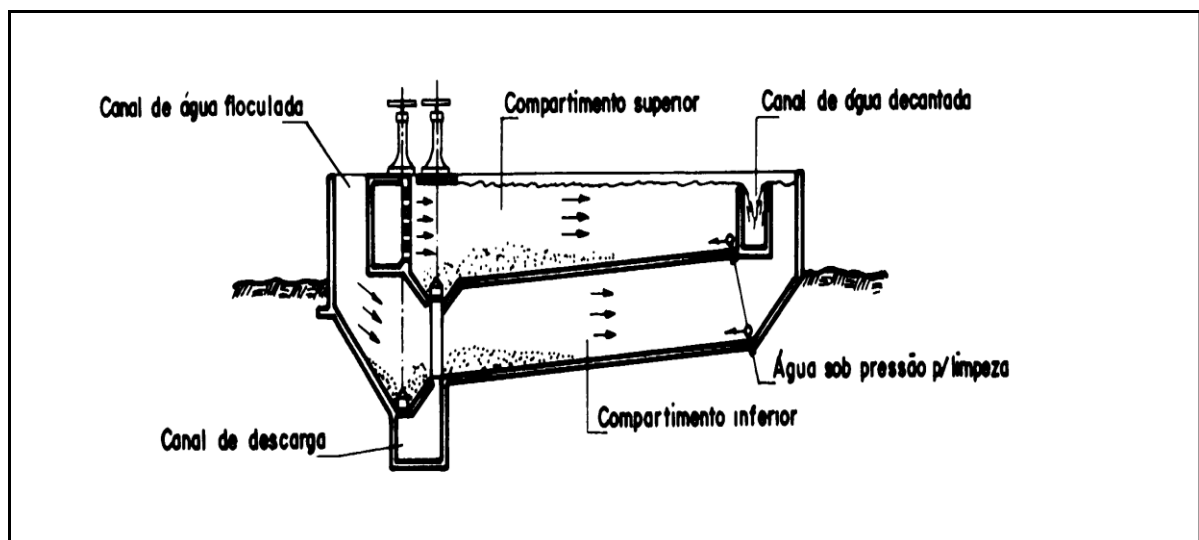
A utilização dos decantadores convencionais de fluxo vertical só é recomendada quando o escoamento é contínuo e não ocorrem variações significativas de vazão e da qualidade da água bruta.

### 5.3.3 Decantador Laminar de Fluxo Ascendente

Richter e Azevedo Netto (2002), comentam que os decantadores laminares ou de alta taxa resultaram de um aperfeiçoamento recente nos decantadores com fundo múltiplos, surgidos a partir de 1915 como aplicação da teoria da sedimentação estabelecida em 1904 por Hazen.

Hazen (1904) concluiu que a eficiência de um decantador depende da sua área e não da sua profundidade, sendo assim, a subdivisão horizontal resulta em uma superfície dupla para receber os flocos sedimentados, duplicando conseqüentemente, a área de sedimentação.

Segundo Vianna (2002), a construção de decantadores de fluxo ascendente com fundos múltiplos, reduz o espaçamento entre elas, de tal forma que se estabelece, em conseqüência, um grande perímetro molhado na seção de escoamento. O mesmo autor afirma que dessa forma, contribui-se para redução do número de Reynolds do escoamento, tornando laminar o seu regime, o que, aumentaria a sua eficiência. No Esquema 20 é apresentado um decantador com bandejas intermediárias.



Esquema 20 – Decantador laminar com bandeja intermediária

Fonte: RICHTER E AZEVEDO NETTO (2002)

De acordo com Azevedo Netto (1977), foram encontradas algumas dificuldades na implementação de decantadores de fundo múltiplos, sendo as seguintes:

- Dificuldades na limpeza dos decantadores;
- Dificuldades de remoção de lodo dos decantadores;
- Dificuldades mecânicas, de equipamentos;
- Dificuldades com material.

Em face do exposto, os projetistas preferiram construir decantadores de dois ou três fundos intermediários espaçados de 1,5 a 2,5 m (RICHTER E AZEVEDO NETTO, 2002). Os mesmos autores observam que a teoria de Hazen conduziria a excelentes resultados, caso fossem resolvidos adequadamente os problemas apontados.

Di Bernardo (1993) cita que para reduzir essas dificuldades tem sido recomendado que o número de Reynolds seja inferior a 500.

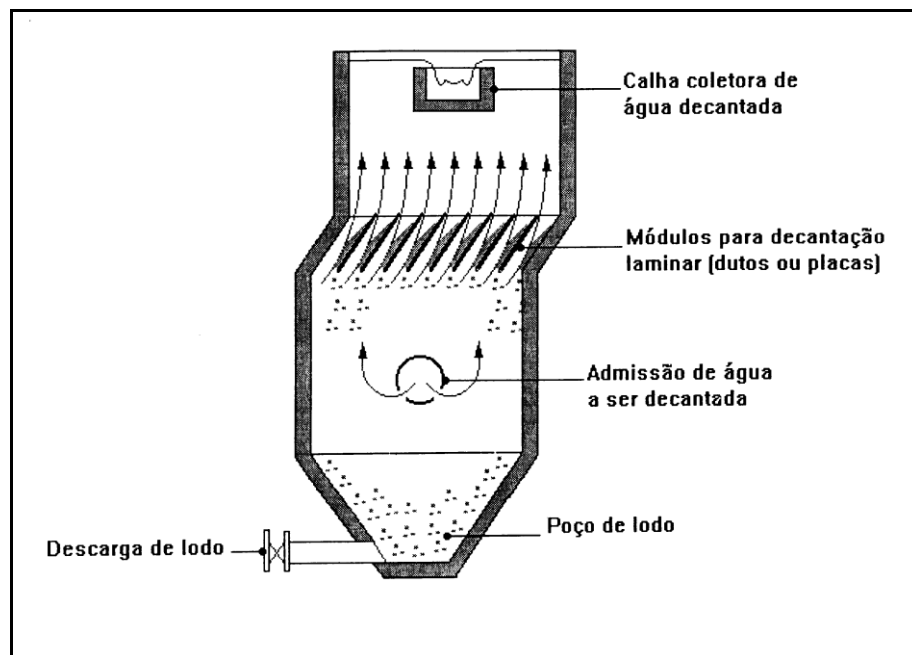
Segundo Di Bernardo (1997), coube a Culp e colaboradores (1969) e ao trabalho teóricos de Yao (1970) promoverem verdadeira renovação dessa técnica da sedimentação.

A técnica consiste em agrupar grande quantidade de elementos tubulares, com diâmetros de aproximadamente 5 cm, de forma a atuar como um módulo. Quando os módulos para decantação laminar são dispostos com inclinação de 50° a 60° é assegurada a autolimpeza dos mesmos, ou seja, os flocos sedimentados em seu interior, unem-se uns aos outros, de tal forma, que conseguem, por seu peso próprio, despregar-se das placas e cair para o poço de lodo, localizado no fundo do decantador, onde permanecem acumulados até serem removidos por meio de abertura de descarga de fundo.

Vianna (2002) relata que, no caso de ETAs que se encontram requerendo a ampliação da capacidade de tratamento da água e cujos decantadores são convencionais, mas não há interesse, ou possibilidade, de se construir novos

decantadores desse tipo, eles podem ser convertidos em decantadores de alta taxa com escoamento horizontal. O autor explica que com essa medida é possível dobrar a vazão tratada pelo decantador, ou até mais do que isto.

No Esquema 21 é apresentado decantador laminar de fluxo ascendente com módulos inclinados (dutos ou placas paralelas), no qual a água floculada é introduzida abaixo dos módulos, sendo que ao escoar entre eles ocorre a sedimentação dos flocos. A água decantada sai pela parte superior do decantador e é coletada por meio de calhas coletoras. Os flocos sedimentados são armazenados no poço de lodo e removidos periodicamente por descarga de fundo.



Esquema 21 – Decantador tubular de fluxo ascendente

Fonte: VIANNA (2002)

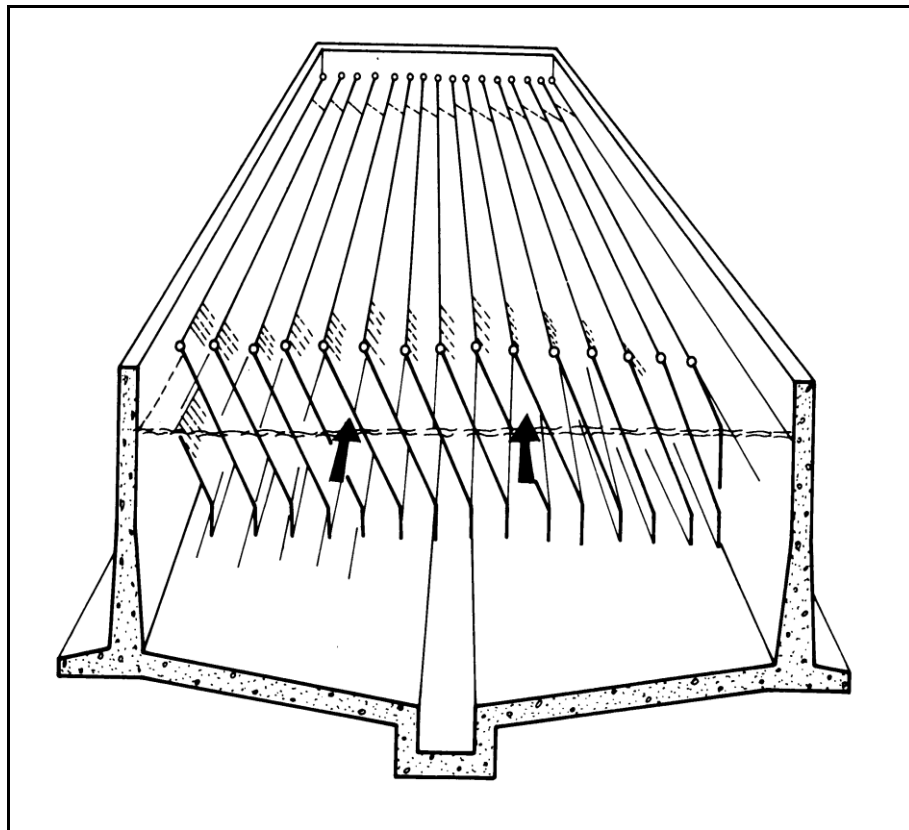
Vários tipos de materiais têm sido empregado para a fabricação de módulos tubulares ou de placas planas paralelas, como: módulos plásticos, placas de fibrocimento ou de PVC, lonas plásticas, madeira, etc.



### 5.3.4 Decantador Laminar de Fluxo Horizontal

Segundo Vianna (2002), esse tipo de decantador representa ainda uma nova tendência de projeto, não sendo utilizados com muita freqüência.

O mesmo autor relata que nesse tipo de decantador, o fluxo da água é horizontal, no qual são instalados módulos tubulares interpostos à passagem da água, como placas paralelas entre si, e com inclinação de no mínimo 50°, de forma a permitir que os flocos sejam arrastados, pela ação da gravidade, para o fundo do decantador. Entre as placas, ocorre a sedimentação dos flocos. No Esquema 22 é apresentado um decantador laminar de fluxo horizontal.



Esquema 22 – Decantador laminar de fluxo horizontal com lonas plásticas

Fonte: RICHTER E AZEVEDO NETTO (2002)

De acordo com Valencia (1992), os decantadores laminares do tipo horizontal possui as seguintes vantagens:

- São mais econômicos na etapa de construção que o decantador de fluxo ascendente, devido a sua profundidade ser cerca de um metro menor (3,20 a 3,50 de altura) e o sistema de canais e apoio das placas ser mais simples;
- A sedimentação dos lodos nas placas se faz em direção diferente ao do fluxo que se estabelece entre elas, havendo, nesse caso, uma menor possibilidade de arraste de partículas que nos sistemas de fluxo ascendente;
- Como o fluxo entra por um ponto diferente ao da zona de lodos, não se deve apresentar interferências entre estes e o processo de decantação como ocorre nos sistemas de fluxo ascendente.

Porém, o mesmo autor comenta que existem alguns questionamentos que devem ser resolvidos antes de se adotar a sedimentação em placas com fluxo horizontal, são eles:

- Qual a longitude ideal das placas que é eficiente para decantar e remover as partículas;
- Dependendo da longitude, podem ser requeridas placas com espessuras maiores o que acaba tornando o processo antieconômico;
- Esse tipo de processo parece ser conveniente somente para ETAs de pequeno e médio porte ( $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ), sendo esta uma limitação que não tem os decantadores de fluxo ascendente.

## 5.4 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DOS DECANTADORES

Um dos aspectos mais críticos nos processos de tratamento de água é o manejo do lodo produzido nos decantadores e filtros (VALENCIA, 1985).

Portanto, os fatores operacionais interferem na boa operação dos decantadores, o que podem concorrer para possível diminuição do seu desempenho operacional.

Assim, é de suma importância que se determine o volume de lodo produzido nos decantadores para que se possa definir a melhor rotina operacional nesta unidade, de modo que a operação da ETA não fique prejudicada.

O percentual de lodo removido nos decantadores depende de suas características, qualidade da água bruta e tipo de reagente utilizado na coagulação, e da técnica usada para a remoção de lodo (RICHTER, 2001). No Quadro 9 são mostrados os valores de vazão média de resíduos gerados nos decantadores em relação à vazão tratada na ETA.

<b>Tipo de Decantador</b>	<b>Vazão média de resíduos gerados nos decantadores</b>	<b>Observação</b>
Convencional de Fluxo Horizontal	< 0,5 % da vazão tratada na ETA	Esses valores dependem da frequência com que as descargas de fundo são realizadas
Convencional de Fluxo Vertical	1 – 5 % da vazão tratada na ETA	-
Alta Taxa	0,5 – 2 % da vazão tratada na ETA	-

Quadro 9 – Vazão média dos resíduos gerados nos decantadores

Fonte: Adaptado de RICHTER (2001)

O teor de sólidos no lodo gerado nos decantadores de limpeza manual apresenta variações de 0,2 a 2% durante a descarga (MACHADO, 2003). Grandin, Alem Sobrinho e Garcia (1993) comentam que mesmo após a descarga, grande quantidade de lodo, com teores elevados de sólidos, ainda permanece retida no fundo do decantador, sendo esse lodo geralmente removido por jatos d'água sob alta pressão.

Caso o decantador possua equipamentos que realizem o descarte de lodo de forma semi-contínua, em intervalos de horas, a operação da ETA não fica prejudicada, evitando-se a sobrecarga hidráulica nos outros decantadores da ETA. Nesse caso o teor de sólidos no lodo varia de 0,3 a 1,5%, dependendo da frequência das descargas, sendo valores menores que aqueles obtidos em operação por batelada (FERREIRA FILHO; ALEM SOBRINHO, 1997).

Em ETAs que utilizam o sulfato de alumínio como coagulante, cerca de 60% a 90% do lodo produzido é coletado nos decantadores, sendo o restante produzido na lavagem dos filtros (MONTGOMERY, 1985). Estes valores condizem com os apresentados por Richter (2001) e Valencia (1985), que afirmam ser entre 60 a 95% e 60 a 70%, respectivamente, o lodo acumulado nos decantadores.

Segundo Castro *et al.* (1997), a vazão média de resíduos gerados em ETA se encontra na faixa de 1 a 3% da vazão tratada, sendo que 10% desse valor se refere a descarga de resíduos dos decantadores e 90% da água de lavagem dos filtros. De acordo com Grandin *et al.* (1993), o volume de lodo gerado na descarga do decantador representa cerca de 0,06 a 0,25% do volume de água tratada.

Em geral, o conteúdo de ST no lodo de tanques de decantação varia entre 1.000 a 40.000 mg/L (0,1 a 4%), sendo que, normalmente, 75 a 90% destes valores representam SST e 20 a 35% compostos voláteis (RICHTER, 2001). No Quadro 10 é mostrado as características dos lodos formados em decantadores.

Características		Pesquisador	Fonte
ST (mg/L)	SST (mg/L)		
12.750	5.105 (0,5%)	SEREC (1987); JNS (1989)	YUZHU (1996)
100 a 16.000	-	-	TEIXEIRA (1999)
14.000 a 60.794	20.333 a 46.100	-	CASTRO <i>et al.</i> (1997)

Quadro 10 – Características dos resíduos de decantadores de ETAs

Fonte: Direta

A produção total de lodo pode ser estimado pela soma da quantidade de lodo formado pelas partículas presentes na água bruta e do lodo formado a partir da

adição de coagulante (MONTGOMERY, 1985). Existem diversas fórmulas empíricas propostas na literatura para estimativa da quantidade de lodo produzida. No Quadro 11 é mostrado algumas dessas equações.

Equação	Fonte
$T_{sm} = SST \cdot ql$	MACHADO, 2003
$P_L = Q \cdot (4,89 \cdot D_{Al} + SS + CAP) \cdot 10^{-3}$	FERREIRA FILHO, 1997
$P_L = Q \cdot (2,88 \cdot D_{Fe} + SS + CAP) \cdot 10^{-3}$	FERREIRA FILHO, 1997
$P_L = 86400 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot T^{0,66} \cdot Q^*$	AWWA, 1987 apud HIDROCONSULT
$P_L = 86400 \cdot Q \cdot (SS + 0,07C + H + A) \cdot 10^{-3}$	W.R.C. 1979, apud HIDROCONSULT
$P_L = 86400 \cdot Q \cdot (0,23 \cdot D_{Al} + 1,5 \cdot T) \cdot 10^{-3}$	CETESB apud HIDROCONSULT
$P_L = 86400 \cdot Q \cdot (0,44 \cdot D_{Al} + 1,5 \cdot T + A) \cdot 10^{-3}$	CORNWELL apud HIDROCONSULT
$P_L = 86400 \cdot Q \cdot (SS + x \cdot C + k \cdot D + A + Fi + Mi + Ci) \cdot 10^{-3}$	AFEE, 1982 apud HIDROCONSULT

Quadro 11 – Equações empíricas utilizadas para o cálculo da quantidade de lodo produzida em ETAs  
Fonte: TEIXEIRA (1999)

em que:

$P_L$  = produção de lodo seco em kg/dia

$Q$  = vazão de água bruta em m<sup>3</sup>/dia

$Q^*$  = vazão de água bruta em m<sup>3</sup>/s

$ql$  = vazão mensal de lodo

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

$D_{Fe}$  = dosagem de cloreto férrico, expresso como Fe em mg/L

$SS_T$  = concentração de sólidos em suspensão na água bruta em mg/L

CAP = concentração de carvão em pó em mg/L

T = turbidez da água bruta (uT)

$T_{sm}$  = quantidade mensal de sólidos

C = cor da água bruta (uC)

H = dosagem de coagulante em mg/L

A = dosagem de aditivos em mg/L

x = coeficiente para converter cor em sólidos (0,05 a 0,07)

k = coeficiente de precipitação: sulfato de alumínio líquido (0,17) e cloreto férrico (0,39)

$F_i$  = massa de precipitação de hidróxido de ferro devido a remoção de ferro em mg/L

$M_i$  = massa de precipitação de óxido de manganês devido a remoção de manganês em mg/L

De acordo com Machado (2003), os valores de sólidos na água bruta podem ser estimados com base na turbidez, caso estes não estejam disponíveis. Nielsen, Carns e Deboice (1973) mostraram que para valores de turbidez menores que 100 uT, os valores de sólidos em suspensão em mg/L são similares.

Além da estimativa da produção de lodo, também é fundamental quantificar o volume de água descartada durante a remoção do lodo dos decantadores, pois, a relação entre o volume de lodo e a vazão vai indicar o teor de sólidos (MACHADO, 2003).

Segundo Realli (1999), o teor de sólidos depende de fatores como:

- as características da água bruta;
- o tipo e dosagem de produtos químicos (coagulantes e/ou coadjuvantes);
- o tipo de decantador;
- a eficiência do decantador;
- a maneira como é realizada a retirada do lodo do decantador .

Finalmente, a disposição dos lodos pode se dar de diversas formas:

- rede coletora;
- lagoas com longo tempo de detenção;
- aplicação no terreno;
- aterros sanitários;
- aproveitamento de subprodutos.

Alguns métodos de disposição exigem a desidratação do lodo por diversos processos não mecânicos como lagoas e leito de secagem, e processos mecânicos como filtração a vácuo, filtro prensa, centrifugação e filtro prensa de correia.

A disposição dos resíduos produzidos em ETAs em cursos d'água, sendo freqüentemente na própria fonte de água que abastece a ETA, foi e continua sendo, uma prática comum em todo o Brasil. No entanto, essa prática precisa ser modificada, pois vai de encontro a Lei nº 9.605, Lei de Crimes Ambientais, causando transtornos e custos as Companhias de Saneamento, mas, sobretudo, provocando impactos negativos nos cursos d'água, inviabilizando a oferta de água à atual e futura geração, em quantidade e qualidade adequadas para a satisfação das necessidades humanas (MACHADO *et al.*, 2002).

Segundo o mesmo autor, a necessidade de dispor esses resíduos de modo

econômico e ambientalmente seguro é um requisito moderno, já que estes despejos são potencialmente poluentes devido à presença em sua constituição de impurezas removidas da água bruta durante o processo de tratamento; e de compostos químicos, resultantes da adição de coagulantes e condicionantes.

## 5.5 EFICIÊNCIA DOS DECANTADORES

Geralmente, para a determinação da eficiência dos decantadores é adotada a relação entre a concentração de partículas no afluente e fluente dos decantadores, ou seja:

$$Eficiência = 1 - \frac{N_t}{N_0} \quad (21)$$

em que:

$N_t$  = Turbidez no efluente

$N_0$  = Turbidez no afluente

De acordo com Valencia (1992), essa relação tem o inconveniente de ser influenciada pelo valor da turbidez no afluente. Por exemplo, se o valor da turbidez no efluente do decantador for 5 uT e no afluente 50 uT, a eficiência será de  $1 - 5/50 = 0.9$  (90%); porém, se a turbidez do afluente fosse 500 uT, a eficiência será de  $1 - 5/500 = 0.99$  (99%). Nos dois casos o efluente do decantador apresentou a mesma qualidade (5 uT).

Dessa forma, se deve ter cuidado ao comparar a eficiência de um decantador com outro por esse sistema, devendo se levar em conta o valor da turbidez no afluente.

O estudo estatístico dos valores obtidos nos decantadores deve conter valores médios de turbidez da água bruta e da água decantada. Com esses valores podem-se elaborar gráficos correspondentes a turbidez da água bruta e turbidez da água decantada, para que se possa comparar as curvas obtidas em outras ETAs.

Embora se reconheça a importância da turbidez na avaliação da qualidade da



água, o incessante avanço tecnológico e o objetivo de garantir o fornecimento de água adequada do ponto de vista sanitário tem levado ao desenvolvimento de novas técnicas de avaliação de sua qualidade (PÁDUA e DI BERNARDO, 2001).

BRITO (1998) comenta que a utilização de contadores de partículas tem permitido monitoramento mais seguro da qualidade da água para consumo humano. O mesmo autor comenta que a contagem de partículas tem tido boa aceitação por parte de entidades sanitárias dos Estados Unidos da América, principalmente após ter sido detectado a presença de organismos muito resistentes à desinfecção, como *Giardia* e *Cryptosporidium*, em águas com turbidez inferior a 1,0 uT. O autor menciona um estudo em que foi verificada a existência de boa correlação entre a remoção de *Giardia* e *Cryptosporidium* e o número de partículas remanescentes na água, assim como com a turbidez remanescente, mas foi constatado que os turbidímetros são menos sensíveis do que os contadores para detectar pequenas mudanças na eficiência da filtração.

O tempo de operação é outro fator que deve ser considerado na hora de se avaliar a eficiência de um decantador convencional com escoamento horizontal, pois à medida que aumenta o tempo de operação dos decantadores, pode ocorrer arrastamento de flocos ao longo do seu comprimento, de modo que, para mantê-lo em operação por mais tempo, é conveniente que a calha de coleta de água decantada ocupe o menor comprimento possível do decantador, obedecendo aos valores máximos de vazão por metro linear no vertedor de coleta de água decantada (PÁDUA e DI BERNARDO, 1999).

Os mesmos autores citam que nos decantadores convencionais com escoamento vertical a qualidade da água decantada e do tempo de operação do decantador depende da altura de projeto. Quanto maior a altura, melhor a qualidade da água decantada e maior o tempo de operação, pois o manto de lodo formado, ao favorecer a floculação no interior do decantador e aumentar a retenção de flocos pré-formados, exerce grande influência na qualidade da água decantada, possibilitando o aumento da velocidade de sedimentação dos flocos.

O aumento da turbidez da água decantada, em decorrência de problemas de projeto, de construção ou de operação da unidade de sedimentação, prejudica o

desempenho das unidades de filtração, podendo conduzir a redução brusca da carreira de filtração, devido à sobrecarga de sólidos nos filtros com a deteriorização da qualidade da água filtrada. Esse fato conduz a lavagens mais freqüentes dos filtros, o que resulta em consumo significativo (perdas) de água durante a retrolavagem dos filtros, aumentando os custos operacionais e reduzindo o volume efetivo de água produzida na ETA.

Dessa forma, a clarificação do efluente líquido da unidade de sedimentação é importante para aumentar o tempo de carreira dos filtros e, com isso, reduzir o volume de água perdida na retrolavagem e, naturalmente, diminuir o consumo de energia elétrica nos equipamentos moto-bomba responsáveis por impulsionar essa massa líquida.

Nesse contexto, é fundamental que seja realizado diagnóstico das condições operacionais da unidade de sedimentação da ETA Bolonha, bem como a análise dos atuais resultados operacionais com os recomendados no projeto executivo, já que essa unidade é composta de bandeja intermediária, o que, conforme bibliografia técnica citada, podem apresentar problemas no caso de operação irregular. Além disso, os decantadores da ETA Bolonha apresentam os dois tipos de fluxo, horizontal e ascendente, o que dificulta a sua classificação, uma vez que esse tipo de decantador não foi encontrado em nenhuma das bibliografias citadas.

Nos próximos capítulos serão abordados os métodos para avaliar a eficiência da unidade de sedimentação da ETA Bolonha na RMB, sendo quantificado e caracterizado o volume de lodo produzido, para que se possa propor uma rotina operacional de remoção do lodo gerado nos decantadores.

## 6 INSTALAÇÕES E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Neste capítulo é realizada a descrição da estação de tratamento de água, bem como da unidade de sedimentação e do sistema auxiliar para remoção de lodo na bandeja intermediária do decantador 2. Em seguida são apresentados os procedimentos metodológicos empregados durante a pesquisa.

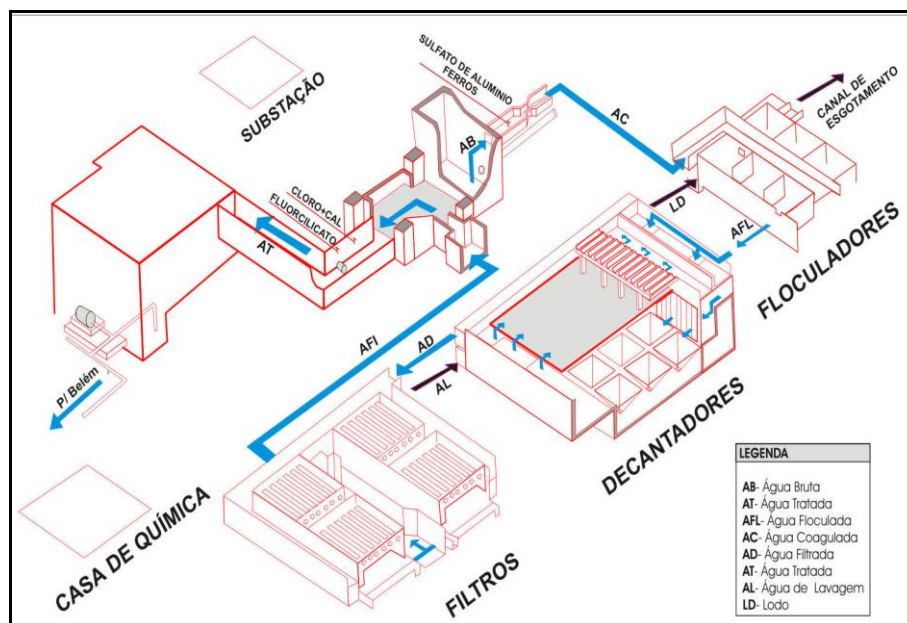
### 6.1 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

#### 6.1.1 Descrição da ETA BOLONHA

A pesquisa foi realizada na Estação de Tratamento de Água do Bolonha (ETA Bolonha), responsável pelo fornecimento de 65% da água consumida na Região Metropolitana de Belém (RMB), sendo operada pela Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA). A ETA Bolonha faz parte do Sistema de Captação e Tratamento de Água Superficial da RMB, localizada na área do Utinga e situada dentro dos limites da Área de Proteção Ambiental dos Mananciais de Abastecimento de Água de Belém (APA-Belém).

A ETA Bolonha foi colocada em operação no ano de 1986, tendo capacidade de 3,36 m<sup>3</sup>/s (1ª fase) e 6,4 m<sup>3</sup>/s (2ª fase – futura expansão). Atualmente na operação ocorre tratamento de 4,0 m<sup>3</sup>/s, o que excede em 0,64 m<sup>3</sup>/s (19 %) a capacidade de projeto para a primeira fase.

A ETA Bolonha é uma estação de ciclo completo, constituída de mistura rápida em vertedor Parshall de 6', seis flocladores mecanizados com três câmaras em série, seis decantadores do tipo convencional dotados de bandeja intermediária e de limpeza manual e de oito filtros de escoamento descendente, cada um com duas câmaras filtrante. No Esquema 23 são apresentados os processos de tratamento de água na ETA Bolonha e no Quadro 12 estão listados os produtos químicos empregados no tratamento de água da ETA Bolonha.



Esquema 23 – Esquema do processo de tratamento da ETA Bolonha

Fonte: Adaptado de CONSÓRCIO ANDRADE GUTIERREZ / ESTACON

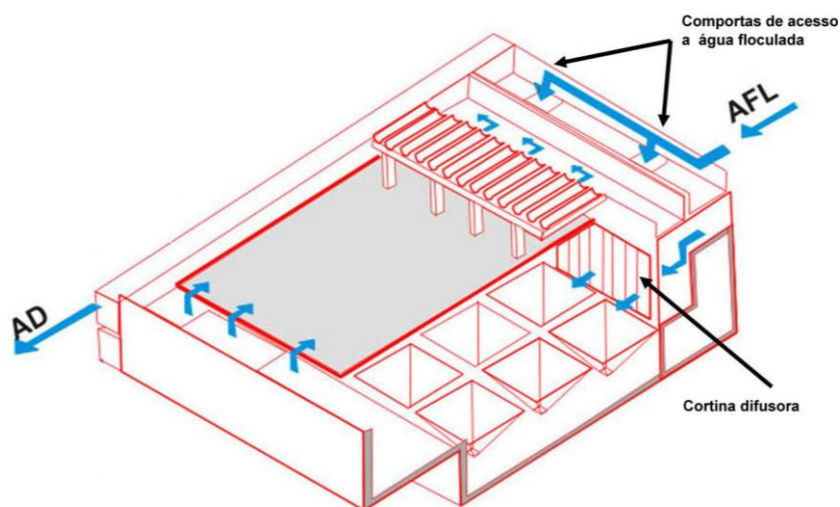
Produto químico	Ponto de aplicação	Dosagem
Sulfato de alumínio	Água bruta	12 a 20 mg/L
Cal hidratada	Água filtrada	1.400 kg/dia
Cloro gasoso	Água filtrada	1.078 kg/dia
Fluorsilicato de sódio	Água filtrada	400 kg/dia

Quadro 12 – Produtos químicos empregados na ETA Bolonha

Fonte: Relatório COSANPA (2003)

### 6.1.2 Unidade de Sedimentação da ETA Bolonha

A unidade de sedimentação é constituída por seis decantadores do tipo convencional, retangular com dimensões em planta de 20,00 m x 28,00 m e profundidade útil de 5,40 m, possuindo bandeja intermediária (20,00 m x 25,00 m) com inclinação de 2%, para separar a zona inferior de decantação da zona superior. As áreas totais de sedimentação (inferior e superior) apresentam 1.060 m<sup>2</sup> e volume útil de 3.024 m<sup>3</sup> (massa líquida). A representação esquemática do decantador é mostrada no Esquema 24.



Esquema 24 – Decantador da ETA Bolonha

Fonte: Adaptado de CONSÓRCIO ANDRADE GUTIERREZ / ESTACON

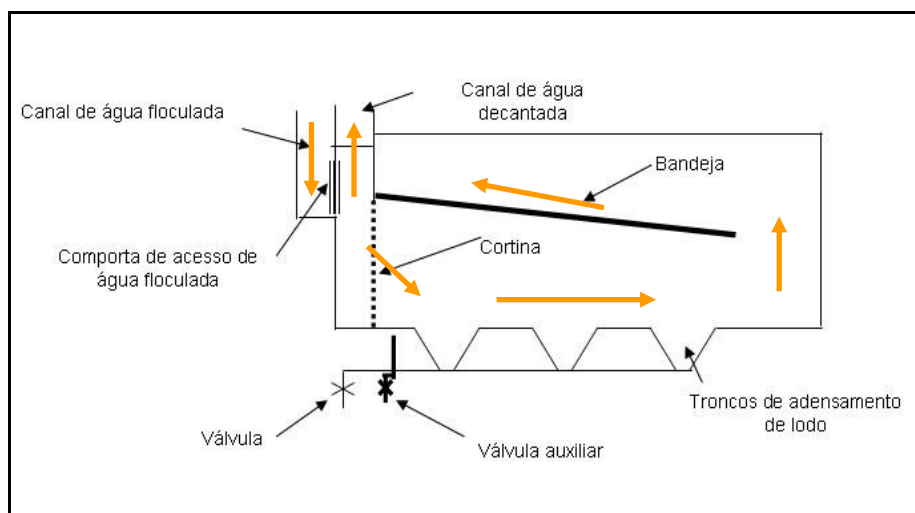
Para aumentar a área de escoamento da massa líquida, os decantadores foram constituídos com bandeja intermediária, que, de acordo com o projeto da ETA Bolonha, tem a finalidade de permitir que a entrada e saída de água sejam realizadas no mesmo lado, o que reduz o comprimento da unidade e propicia formação de sombra na maior parte do lodo sedimentado. Na Fotografia 8 é mostrada a bandeja intermediária do decantador.



Fotografia 8 – Decantador com bandeja intermediária

Fonte: Relatório COSANPA (2003)

O escoamento da água no decantador segue da parte inferior para a parte superior (sobre a bandeja) pelo espaçamento livre na lateral oposta a entrada, obrigando, dessa forma, a massa líquida a ter movimento horizontal e ascensional, o que facilita, portanto, a sedimentação dos flocos (Esquema 25). A água floculada é introduzida na zona inferior, através de 2 comportas de acesso (seção retangular de 1,20 m x 1,20 m) e acionadas manualmente (Fotografia 9), passando por cortina difusora.



Esquema 25 – Corte simplificado do decantador

Fonte: Relatório COSANPA (2003)



Fotografia 9 – Volante de acionamento da comporta

Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)

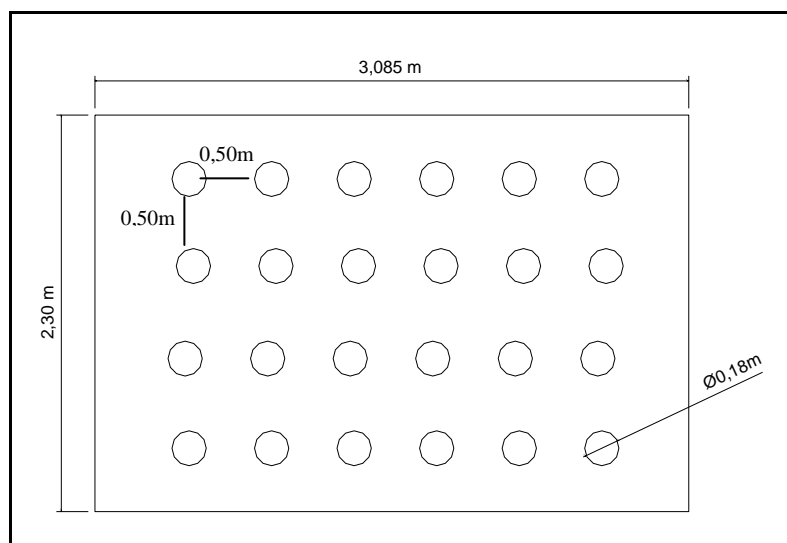
Cada decantador possui uma cortina de distribuição de água floculada (Fotografia 10), que tem a finalidade de uniformizar o fluxo da água nessa unidade. A cortina difusora é dividida em seis painéis com as seguintes dimensões:

- Altura de 2,30 m;
- Largura de 3,085 m.



Fotografia 10 – Painel distribuidor de água floculada  
Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)

Cada painel é constituído de vinte e quatro orifícios de diâmetro 0,18 m, dispostos em quatro linhas horizontais e seis linhas verticais, conforme mostrado no Esquema 26.



Esquema 26 – Painel distribuidor de água floculada  
Fonte: Relatório COSANPA (2003)



A água decantada é coletada na superfície do decantador em calhas coletoras formadas por vertedores triangulares, sendo o efluente clarificado encaminhado ao canal de água decantada que dá acesso aos filtros. Cada decantador possui 1.196 vertedores triangulares. Nas Fotografias 11 e 12 são mostrados as calhas coletoras e o canal de água decantada, respectivamente.



Fotografia 11 – Calhas coletoras

Fonte: Relatório COSANPA (2003)



Fotografia 12 – Canal de água decantada

Fonte: Relatório COSANPA (2003)

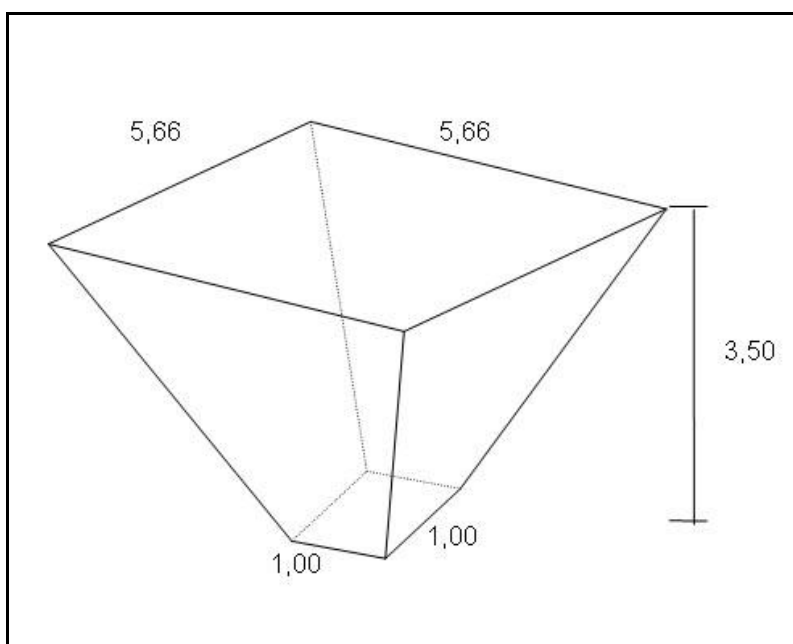


No fundo do decantador existem nove troncos de pirâmide invertidos, para acumulação dos flocos sedimentados. Na Fotografia 13 é apresentada a construção dos troncos de pirâmide, enquanto que no Esquema 27 são mostradas as dimensões desses compartimentos de acumulação de lodo.



Fotografia 13 – Troncos de pirâmide invertidos do decantador  
(2ª fase da ETA Bolonha)

Fonte: Visita Técnica - ETA Bolonha (2003)



Esquema 27 – Dimensões do tronco de pirâmide

Fonte: Relatório COSANPA (2003)

Cada tronco de pirâmide invertido possui 32,04 m<sup>2</sup> de área na base e 3,50 m de altura, o que corresponde a 45 m<sup>3</sup> de volume útil. Dessa forma, o volume total de cada decantador é de 3.429 m<sup>3</sup>, sendo 3.024 destinado para a massa líquida e 405 m<sup>3</sup> para o armazenamento do lodo.

O lodo é drenado pela abertura de três válvulas esféricas de diâmetro de 200 mm instaladas no fundo do decantador. Cada válvula é conectada em tubulações de ferro fundido com diâmetro de 300 mm, que conduz o lodo de três troncos de pirâmide. Além dessas válvulas, em cada decantador existe uma válvula borboleta (auxiliar) de diâmetro de 400 mm, para esgotar a seção superior dos troncos de pirâmide, conforme apresentado nas Fotografias 14 e 15.



Fotografias 14 e 15 – Válvula auxiliar (2ª fase da ETA Bolonha)

Fonte: Relatório COSANPA (2003)

Após a remoção do lodo, acontece a lavagem das paredes internas e das calhas coletoras com mangueiras de incêndio. O volume de lodo drenado dos decantadores é encaminhado para um canal de descarga que deságua no Igarapé Murucutum, localizado dentro da área do Parque Ambiental de Belém. Nas Fotografias 16 e 17 são mostradas as lavagens das calhas coletoras e das paredes internas do decantador, respectivamente. Na Fotografia 18 é mostrado o canal de drenagem do lodo.





Fotografias 16 e 17 – Lavagem da calha coletora e lavagem interna do decantador

Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)



Fotografia 18 – Canal de drenagem do lodo

Fonte: Visita Técnica - ETA Bolonha (2003)

### 6.1.3 Sistema Auxiliar para Remoção de Lodo

Na tentativa de remover o lodo acumulado na bandeja intermediária, os técnicos da COSANPA instalaram um sistema auxiliar (Fotografia 19) na bandeja do decantador 2. Esse sistema foi desenvolvido no ano de 2002, tendo as seguintes finalidades:

- Melhorar o processo unitário de decantação;
- Permitir descargas periódicas para retirada do lodo acumulado na bandeja intermediária dos decantadores, evitando, assim, o arraste de flocos pela redução da área de escoamento e, conseqüentemente, aumentando o tempo de carreira dos filtros com a diminuição da quantidade de flocos retidos nos leitos filtrantes;
- Aumentar o intervalo de tempo entre as lavagens dos decantadores;
- Aumentar a produção da ETA em conseqüência da diminuição do volume de água utilizado nas lavagens dos decantadores.



Fotografia 19 – Sistema auxiliar para remoção do lodo

Fonte: Visita Técnica - ETA Bolonha (2003)

A remoção periódica do lodo acumulado na bandeja intermediária é realizada por meio de sifonamento, sendo o sistema formado por quatro linhas de tubo em PVC ( $\varnothing$  60mm), com ramais de  $\varnothing$  60mm conectados a rede principal de  $\varnothing$  85mm em PVC. Nas Fotografias 20 e 21 são mostradas as tubulações de sifonamento.





Fotografias 20 e 21 – Tubulação de sinfonamento para remoção do lodo da bandeja intermediária  
Fonte: Visita Técnica - ETA Bolonha (2003)

Esse sistema possui furos que funcionam como bocais, totalizando quarenta pontos que succionam o lodo depositado na bandeja. Nas Fotografias 22, 23, 24 e 25 são apresentados os bocais de sucção do lodo antes e depois da operação de descarga do lodo.



Fotografias 22 e 23 – Bocais de sucção do lodo  
Fonte: Visita Técnica - ETA Bolonha (2003)



Fotografias 24 e 25 – Bocais de sucção do lodo

Fonte: Visita Técnica - ETA Bolonha (2003)

## 6.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho experimental foi dividido em três fases, sendo na fase 1 realizado o diagnóstico da eficiência dos decantadores 1, 2, 3, 4, 5 e 6; na fase 2 foi avaliada a eficiência dos decantadores 1 e 2 com remoção diária de lodo; e na fase 3 foi avaliada a eficiência dos decantadores 1 e 2 com remoção de lodo de 5 em 5 dias. No Quadro 13 é apresentado um resumo da divisão das fases aplicadas no trabalho.

Fase	Etapa	Período		Finalidade
		Início	Fim	
1	1	18/02/03	04/04/03	Definir a eficiência do processo
	2	18/02/03	19/03/03	Quantificar o volume de lodo, perda de água e quantidade de resíduos gerados pelo lodo
	3	28/02/03	12/03/03	Determinar a concentração de sólidos no lodo descartado
2	1	11/09/03	10/10/03	Definir a eficiência do processo
	2	11/09/03	10/10/03	Quantificar o volume de lodo, perda de água e quantidade de resíduos gerados pelo lodo
	3	11/09/03	10/10/03	Determinar a concentração de sólidos no lodo descartado

Continuação

Fase	Etapa	Período		Finalidade
		Início	Fim	
3	1	24/10/03	14/11/03	Definir a eficiência do processo
	2	24/10/03	14/11/03	Quantificar o volume de lodo, perda de água e quantidade de resíduos gerados pelo lodo
	3	24/10/03	14/11/03	Determinar a concentração de sólidos no lodo descartado

Quadro 13 – Resumo das fases

### 6.2.1 Fase 1 - Diagnóstica da Eficiência dos Decantadores 1, 2, 3, 4, 5 e 6 da ETA Bolonha.

Esta fase foi dividida em três etapas, sendo na primeira etapa avaliada a eficiência dos seis decantadores da ETA Bolonha, com a finalidade de se escolher dois decantadores para a fase 2 experimental, sendo que a eficiência do processo determinou os decantadores a serem utilizados na próxima fase da pesquisa. Na segunda etapa foi quantificado o volume de lodo produzido durante a operação de descarga dos decantadores e na terceira etapa foi determinada às concentrações de sólidos do lodo removido dos seis decantadores. Nesta etapa o período de operação de cada decantador foi de 12 dias, após o qual todo o volume útil (3.429 m<sup>3</sup>) foi drenado.

#### 6.2.1.1 Etapa 1 - Avaliação da eficiência dos decantadores 1, 2, 3, 4, 5 e 6 da ETA Bolonha

Para determinação da eficiência foram coletadas amostras, nos seguintes pontos: água bruta, água floculada, água decantada e canal de saída da unidade de sedimentação no horário de 08:30 às 09:00 horas durante 45 dias consecutivos (18/02 a 04/04/03).

Nas amostras coletadas foram realizadas determinações de cor, turbidez e sólidos suspensos; totalizando 999 determinações laboratoriais, conforme mostrado na Tabela 1. As determinações laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Controle de Resíduos do Departamento de Hidráulica e Saneamento da UFPA, de acordo com os métodos citados no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (1995). Foram escolhidas para a 2ª fase experimental os decantadores que apresentaram menor eficiência nos resultados das determinações laboratoriais.

Tabela 1 – Variáveis determinadas na 1ª fase experimental para avaliação da eficiência dos decantadores da ETA Bolonha

<b>Ponto de Coleta</b>	<b>Cor Aparente</b>	<b>Turbidez</b>	<b>Sólidos Suspensos</b>
AB	45	45	45
AFL	45	45	45
D1	33	33	33
D2	33	33	33
D3	33	33	33
D4	33	33	33
D5	33	33	33
D6	33	33	33
AD (canal)	45	45	45
<b>Sub-Total</b>	<b>333</b>	<b>333</b>	<b>333</b>
<b>Total</b>		<b>999</b>	



### *6.2.1.2 Etapa 2 - Quantificação do volume de lodo produzido nos decantadores da ETA Bolonha*

Para quantificar o volume de lodo produzido nos decantadores da ETA Bolonha, foi realizado o monitoramento da operação de limpeza dos decantadores durante o período de 30 dias (18/02 a 19/03/03). Nesse período foram registrados as lavagens dos decantadores e o total de água consumida em cada operação.

Com o conhecimento do volume útil do decantador e o número de lavagens realizadas foi possível quantificar o volume de lodo produzido nos decantadores da ETA Bolonha.

### *6.2.1.3 Etapa 3 – Determinação da concentração de sólidos do lodo descartado dos decantadores da ETA Bolonha*

Por dificuldade operacional e conveniência experimental não foi realizado a determinação da concentração de sólidos do lodo dos seis decantadores da ETA Bolonha, sendo na pesquisa coletadas amostras do descarte de lodo em duas lavagens do decantador 2 (28/02 e 12/03/03). As coletas foram realizadas nas válvulas de fundo do decantador, conforme apresentado na Fotografia 26.



Fotografia 26 - Válvula de descarga de fundo

Fonte: Visita Técnica - ETA Bolonha (2003)

Na determinação da concentração de sólidos do lodo foram utilizados os seguintes procedimentos experimentais:

- Coleta de amostras de lodo nos três registros de fundo do decantador em recipientes de 10 litros;
- Homogeneização do conteúdo do balde e retirada de 2 litros de amostra;
- Repetição do procedimento em intervalos da ordem de 10 minutos durante o esvaziamento do decantador.
- Realização das determinações no Laboratório de Controle de Resíduos da UFPA, de acordo com o método descrito em APHA, AWWA, WEF (1995).

Nas amostras coletadas de lodo foram determinadas as seguintes variáveis: sólidos totais, sólidos suspensos e sólidos sedimentáveis de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Variáveis determinadas na 1ª fase experimental para caracterização do lodo do decantador 2 da ETA Bolonha

Variáveis	Válvula	D2
Sólidos Totais	V1	28
	V2	28
	V3	28
Sólidos Suspensos	V1	28
	V2	28
	V3	28
Sólidos Sedimentáveis	V1	28
	V2	28
	V3	28
TOTAL		<b>252</b>

### 6.2.2 Fase 2 – Avaliação da Eficiência dos Decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha com Remoção Diária de Lodo

Nessa fase os decantadores selecionados (1 e 2) tiveram alteração na rotina de remoção de lodo, passando de 12 dias para remoção diária, para atender as recomendações do projeto executivo. Para isso foram avaliadas as eficiências, determinada a concentração de sólidos do lodo descartado dos decantadores e quantificado o volume de lodo produzido na rotina experimental. Além disso, foi avaliado e quantificado o volume de lodo removido no sistema auxiliar de remoção do lodo acumulado na bandeja intermediária do decantador 2.

### 6.2.2.1 Etapa 1 - Avaliação da eficiência dos decantadores 1 e 2 com descargas diárias de lodo

Nessa etapa foram monitorados o afluyente e efluente dos decantadores 1 e 2, sendo utilizados os mesmos pontos e o mesmo horário de coleta da fase 1. O decantador 1 foi monitorado durante o período de 29 dias (12/09 a 10/10/03) e o decantador 2 (11/09 a 08/10/03) durante o período de 28 dias. Na Tabela 3 são apresentados os totais de determinações laboratoriais e as variáveis que foram realizados nesta etapa.

Tabela 3 – Variáveis determinadas na 2ª fase experimental para avaliação da eficiência dos decantadores 1 e 2

Decantador	Variáveis	Ponto de Coleta		Sub Total	Total
		AFL	D		
D1	Cor	29	29	58	174
	Turbidez	29	29	58	
	Sólidos Suspensos	29	29	58	
D2	Cor	28	28	56	168
	Turbidez	28	28	56	
	Sólidos Suspensos	28	28	56	
Total					<b>342</b>

As determinações laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Controle de Resíduos do Departamento de Hidráulica e Saneamento da UFPA, de acordo com os métodos citados no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (1995).

### *6.2.2.2 Etapa 2 - Quantificação do volume de lodo produzido nos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha*

Para quantificar o volume de lodo descartado nesta fase, primeiramente foram fechadas as comportas de entrada e saída dos decantadores selecionados (1 e 2), para possibilitar a medição da redução da altura da lâmina d'água em decorrência da abertura das válvulas de descarga de lodo e sistema auxiliar para remoção de lodo da bandeja intermediária (decantador 2). Com o conhecimento da área do decantador e as alturas das lâminas de água perdida durante a descarga foi possível quantificar o volume de lodo produzido nessa fase. Esta etapa teve duração de 30 dias (11/09 a 10/10/03).

### *6.2.2.3 Etapa 3 – Determinação da concentração de sólidos descartados no lodo produzido nos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha*

Nesta fase foram coletadas amostras do descarte de lodo durante o período de 29 dias no decantador 1 (12/09 a 10/10) e 28 dias no decantador 2 (11/09 a 08/10). As amostras de lodo foram coletadas após abertura das três válvulas de fundo.

Como os decantadores da ETA Bolonha são dotados de três válvulas de fundo para o descarte do lodo armazenado nos troncos de pirâmide invertidos, foram necessárias 18 amostras diárias, coletadas em intervalos de 1 minuto, o que totalizou no final do período 522 amostras para o decantador 1 e 504 amostras para o decantador 2.

Além disso, foram coletadas amostras do sistema auxiliar de remoção de lodo da bandeja intermediária do decantador 2, sendo 5 amostras diárias, com intervalos de 5 minutos, o que totalizou no fim do estudo 140 amostras. No final desta fase foram contabilizadas 3.498 determinações laboratoriais, sendo realizadas as seguintes variáveis: sólidos totais, sólidos suspensos e sólidos sedimentáveis, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Variáveis realizadas na 2ª fase experimental para concentração de sólidos do lodo do decantador 1 e 2 da ETA Bolonha

Variáveis	Válvula	D1	D2	Sistema Auxiliar
Sólidos Totais	V1	174	168	140
	V2	174	168	
	V3	174	168	
Sólidos Suspensos	V1	174	168	140
	V2	174	168	
	V3	174	168	
Sólidos Sedimentáveis	V1	174	168	140
	V2	174	168	
	V3	174	168	
<b>Sub Total</b>		<b>1.566</b>	<b>1.512</b>	<b>420</b>
<b>Total</b>		<b>3.498</b>		

### 6.2.3 Fase 3 – Avaliação da Eficiência dos Decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha com Remoção de Lodo a cada 5 dias

Nesta fase os decantadores 1 e 2 tiveram sua rotina operacional de descarte de lodo alterada para cada 5 dias, sendo, novamente, avaliadas as suas eficiências, investigadas as concentrações de sólidos dos resíduos produzidos nestes decantadores e determinado o volume de lodo produzido nesta fase experimental. Além de, também, avaliar e quantificar o volume de lodo removido pelo sistema auxiliar para remoção do lodo acumulado na bandeja intermediária do decantador 2.

### 6.2.3.1 Etapa 1 - Avaliação da eficiência dos decantadores 1 e 2 com remoção de lodo a cada 5 dias

Nesta etapa foram monitorados o afluente e efluente dos decantadores 1 e 2, sendo as coletas realizadas nos mesmos pontos e horários da fase 2. Os dois decantadores foram monitorados durante período de 22 dias (24/10 a 14/11). Na Tabela 5 são apresentados os totais de determinações laboratoriais e as variáveis que foram realizadas nesta etapa.

Tabela 5 – Variáveis realizadas na 3ª fase experimental para determinação da eficiência dos decantadores 1 e 2

Decantador	Variáveis	Ponto de Coleta		Sub Total	Total
		AFL	D		
D1	Cor	22	22	44	132
	Turbidez	22	22	44	
	Sólidos Suspensos	22	22	44	
D2	Cor	22	22	44	132
	Turbidez	22	22	44	
	Sólidos Suspensos	22	22	44	
<b>Total</b>					<b>264</b>

As determinações laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Controle de Resíduos do Departamento de Hidráulica e Saneamento da UFPA, de acordo com os métodos citados no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (1995).

### *6.2.3.2 Etapa 2 - Quantificação do volume de água perdido nos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha*

Para quantificar o volume de lodo produzido nesta fase, primeiramente foram fechadas as comportas de entrada e saída dos decantadores (1 e 2) e medida a lâmina de água que baixou com a abertura das válvulas de descargas de lodo e sistema auxiliar para remoção de lodo da bandeja intermediária (decantador 2).

Com o conhecimento da área do decantador e as alturas das lâminas de água perdida durante a descarga foi possível quantificar o volume de lodo produzido nessa fase. Esta etapa teve duração de 22 dias (24/20 a 14/11/03).

### *6.2.3.3 Etapa 3 - Determinação da concentração de sólidos descartados no lodo produzido nos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha*

Nesta fase foram realizadas descargas de lodo a cada 5 dias, totalizando 4 descartes de lodo nos decantadores 1 e 2, sendo o primeiro descarte no dia 28/10, o segundo no dia 02/11, o terceiro no dia 07/11 e o quarto no dia 12/11. As amostras de lodo foram coletadas após abertura das três válvulas de fundo, sendo nesta etapa necessárias 18 amostras diárias, coletadas em intervalos de 1 minuto, o que totalizou no final do período 72 amostras.

No mesmo período foram coletadas amostras de lodo descartado do sistema auxiliar para remoção de lodo da bandeja intermediária do decantador 2. Para isso, em cada descarte de lodo foram coletadas 5 amostras com intervalos de 5 minutos, o que totalizou no fim do período 20 amostras.

No final desta fase foram contabilizadas 492 determinações laboratoriais, sendo realizadas as seguintes variáveis: sólidos totais, sólidos suspensos e sólidos sedimentáveis, conforme apresentado na Tabela 6. No Quadro 14 é apresentado um resumo da metodologia empregada para a realização dos experimentos com as fases 1, 2 e 3 e na Tabela 7 são mostrados os equipamentos e materiais utilizados durante a pesquisa.



Tabela 6 – Variáveis realizadas na 3ª fase experimental para caracterização do lodo do decantador 1 e 2 da ETA Bolonha

Variáveis	Válvula	D1	D2	Sistema Auxiliar
Sólidos Totais	V1	24	24	20
	V2	24	24	
	V3	24	24	
Sólidos Suspensos	V1	24	24	20
	V2	24	24	
	V3	24	24	
Sólidos Sedimentáveis	V1	24	24	20
	V2	24	24	
	V3	24	24	
<b>Sub Total</b>		<b>216</b>	<b>216</b>	<b>60</b>
<b>Total</b>		<b>492</b>		

Fase	Etapa	Período		Atividade	Total de Determinações Laboratoriais
		Início	Término		
1 – Diagnóstico da eficiência dos decantadores 1, 2, 3, 4, 5 e 6, com remoção total do volume do decantador a cada 12 dias	1	18/02/03	04/04/03	Avaliação da eficiência dos decantadores 1, 2, 3, 4, 5 e 6	999
	2	18/02/03	19/03/03	Quantificação do lodo produzido nos decantadores 1, 2, 3, 4, 5 e 6	-
	3	28/02/03	12/03/03	Determinação da concentração de sólidos descartado no lodo produzido no decantador nº 2	252
2 – Avaliação da eficiência dos decantadores 1 e 2 com remoção diária de lodo	1	11/09/03	10/10/03	Avaliação da eficiência dos decantadores 1 e 2 com descargas diárias de lodo	342
	2	11/09/03	10/10/03	Quantificação do lodo produzido nos decantadores 1 e 2 e no sistema auxiliar	-

## Continuação

Fase	Etapa	Período		Atividade	Total de Determinações Laboratoriais
2 – Avaliação da eficiência dos decantadores 1 e 2 com remoção diária de lodo	3	11/09/03	10/10/03	Determinação da concentração de sólidos descartado no lodo produzido nos decantadores 1 e 2 e do sistema auxiliar de remoção de lodo da bandeja intermediária do decantador 2	3.498
3 - Avaliação da eficiência dos decantadores 1 e 2 com remoção de lodo a cada 5 dias	1	24/10/03	14/11/03	Avaliação da eficiência dos decantadores 1 e 2 com remoção de lodo a cada 5 dias	264
	2	24/10/03	14/11/03	Quantificação do lodo produzido nos decantadores 1 e 2 e no sistema auxiliar	-

Continuação

<b>Fase</b>	<b>Etapa</b>	<b>Período</b>		<b>Atividade</b>	<b>Total de Determinações Laboratoriais</b>
3 - Avaliação da eficiência dos decantadores 1 e 2 com remoção de lodo a cada 5 dias	3	24/10/03	14/11/03	Determinação da concentração de sólidos descartado no lodo produzido nos decantadores 1 e 2 e do sistema auxiliar de remoção de lodo da bandeja intermediária do decantador 2	492

Quadro 14 – Resumo da metodologia

Tabela 7 – Equipamentos utilizados na determinação das variáveis monitoradas durante a investigação experimental

<b>Variáveis</b>	<b>Equipamento</b>
Turbidez	Turbidímetro Hach, modelo 2100P
Cor aparente	Espectrofotômetro Hach1, modelo DR/4000 U
Sólidos Suspensos	Espectrofotômetro Hach2, modelo DR/4000 U
Sólidos Totais	Estufa, chapa quente e cápsulas de porcelana
Sólidos Sedimentáveis	Cones Imhoff

Outros equipamentos e materiais utilizados: cronômetro digital, balança analítica, dessecador e vidrarias diversas

Os resultados foram interpretados por meio da estatística descritiva, que

<sup>1</sup> Leituras feitas utilizando-se o programa existente no equipamento para comprimento de onda igual a 455 nm e considerando-se como referência 0 uC para a água destilada.

<sup>2</sup> Leituras feitas utilizando-se o programa existente no equipamento para comprimento de onda igual a 455 nm e

consiste em sumarizar os dados coletados da amostra, ordenando-os e classificando-os, para torná-los de fácil entendimento (ALVES, 2002).

Para a análise dos dados foram utilizadas medidas de posição que, de acordo com o mesmo autor, mostram o valor representativo em torno do qual os dados tendem a agrupar-se, com maior ou menor frequência. As medidas de posição utilizadas foram:

- Média aritmética: caracteriza o centro da distribuição de frequência para valores que tenham uma distribuição razoavelmente simétrica;
- Mediana: caracteriza o ponto central da amostra em distribuições assimétricas.

Além das medidas de posição também foram utilizadas as medidas de dispersão que servem para indicar o quanto os dados se apresentam próximos uns dos outros. Quanto maior numericamente elas forem, mais afastados estarão os dados (ALVES, 2002). As medidas de dispersão utilizadas foram:

- Desvio padrão: é uma maneira de medir a variação em um conjunto de observações, sendo que quanto menor for o desvio padrão mais os valores da variável se aproxima de sua média, enquanto que quanto maior o desvio padrão, maior a heterogeneidade entre os elementos de um conjunto.
- Coeficiente de variação: o CV permite a comparação de distribuições, pois seu resultado é o desvio padrão por unidade de média. A grande utilidade do coeficiente de variação é permitir a comparação das variabilidades de diferentes conjuntos de dados.

Os dados analisados são apresentados através de tabelas de frequência, que permitem condensar os resultados de modo a torná-los de fácil compreensão; e gráficos, que constituem importantes instrumentos de comunicação rápida, clara e efetiva. Os tipos de gráficos utilizados na visualização dos dados foram:

- Gráfico de linha: mostra a tendência dos dados no decorrer do tempo, sendo, portanto, muito utilizado nas representações de séries temporais.
- Gráficos de colunas: exibe as alterações dos dados em um período de tempo ou ilustra comparações entre itens, sendo que as categorias são organizadas horizontalmente e os valores verticalmente para enfatizar a variação ao longo do tempo.
- Gráfico BOX-PLOT: mostra no Box a média e o desvio padrão, exibindo, ainda, o menor e o maior valor através do limite inferior e superior das linhas retas verticais.

Nos próximos capítulos serão apresentados os resultados das determinações laboratoriais, realizadas para avaliar a eficiência dos decantadores da ETA Bolonha e para caracterizar e quantificar os resíduos produzidos nos decantadores da ETA Bolonha.

## **7 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **7.1 FASE 1 - DIAGNÓSTICO DA EFICIÊNCIA DOS DECANTADORES 1, 2, 3, 4, 5 E 6 DA ETA BOLONHA COM ROTINA DE LAVAGEM DOS DECANTADORES A CADA 12 DIAS**

#### *7.1.1 Etapa 1 - Avaliação da eficiência dos decantadores 1, 2, 3, 4, 5 e 6 da ETA Bolonha.*

O monitoramento dessa etapa foi realizado através de determinações físicas (turbidez, cor e SST), durante o período de 18/02/03 a 04/04/03. A seguir serão mostrados os valores das variáveis determinadas em todos os decantadores. Os dados experimentais referentes aos gráficos estão apresentados no apêndice A.

## Turbidez

Nos Gráficos de 2 a 7 é apresentada a série temporal dos valores de turbidez nas amostras da água bruta, água floculada, efluente de cada decantador e água decantada (canal).

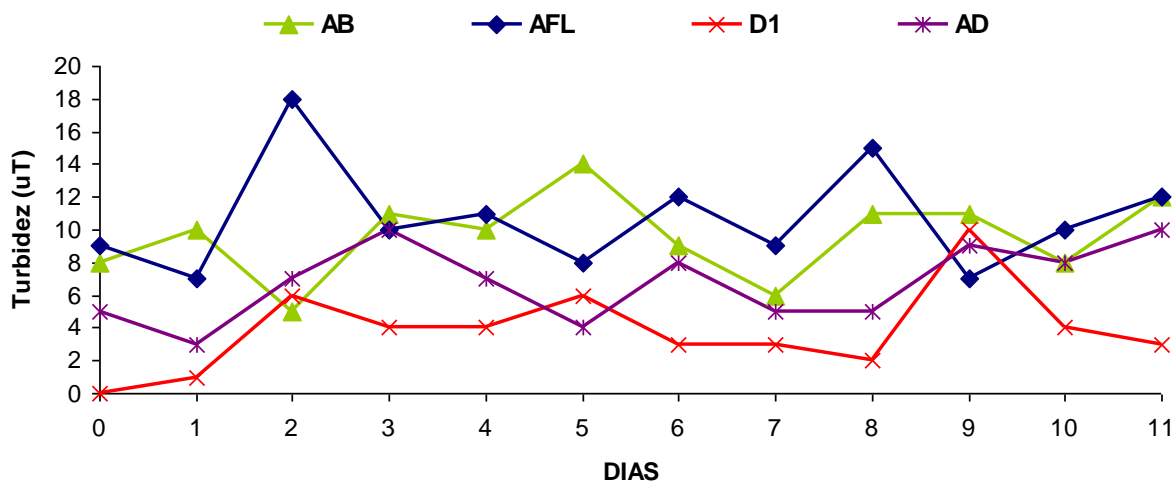


Gráfico 2: Série temporal - valores de turbidez do decantador 1 na Fase 1

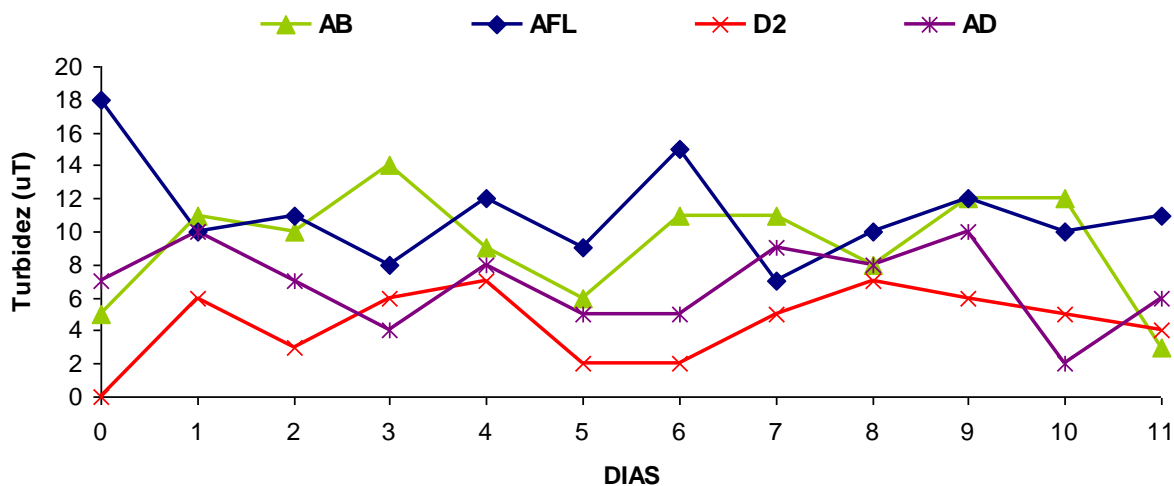


Gráfico 3: Série temporal - valores de turbidez do decantador 2 na Fase 1

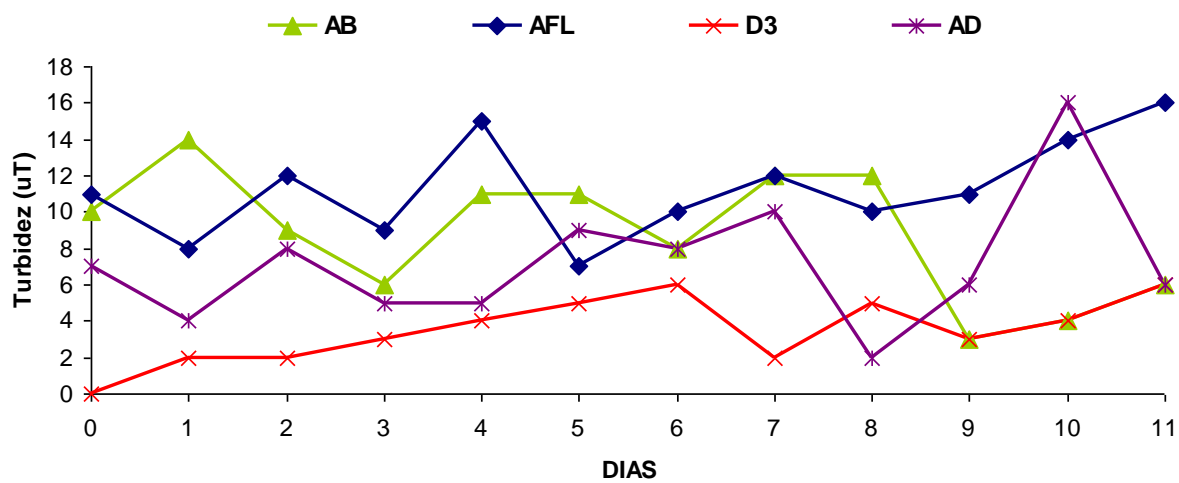


Gráfico 4: Série temporal - Valores de turbidez do decantador 3 na Fase 1

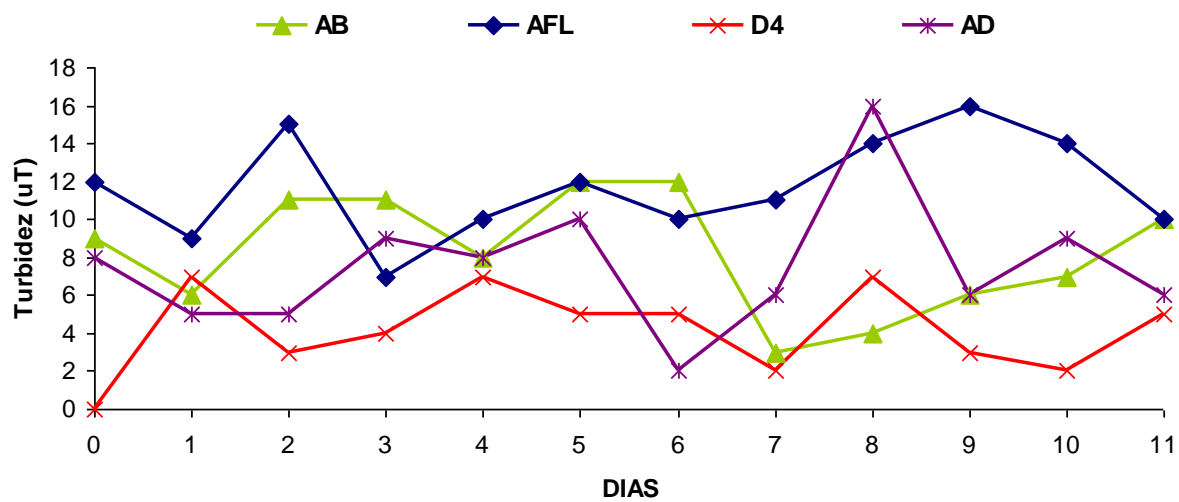


Gráfico 5: Série temporal - Valores de turbidez do decantador 4 na Fase 1



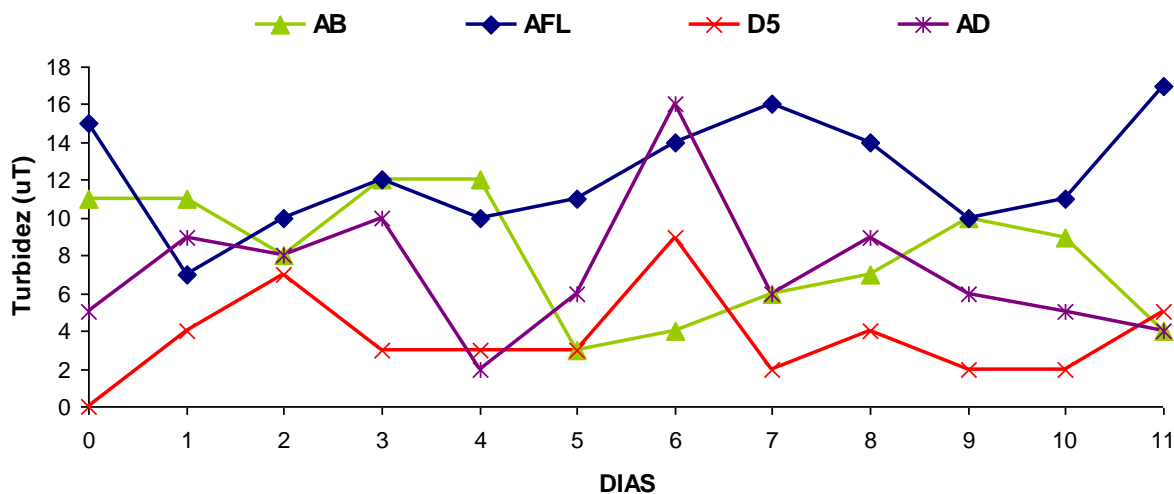


Gráfico 6: Série temporal - Valores de turbidez do decantador 5 na Fase 1

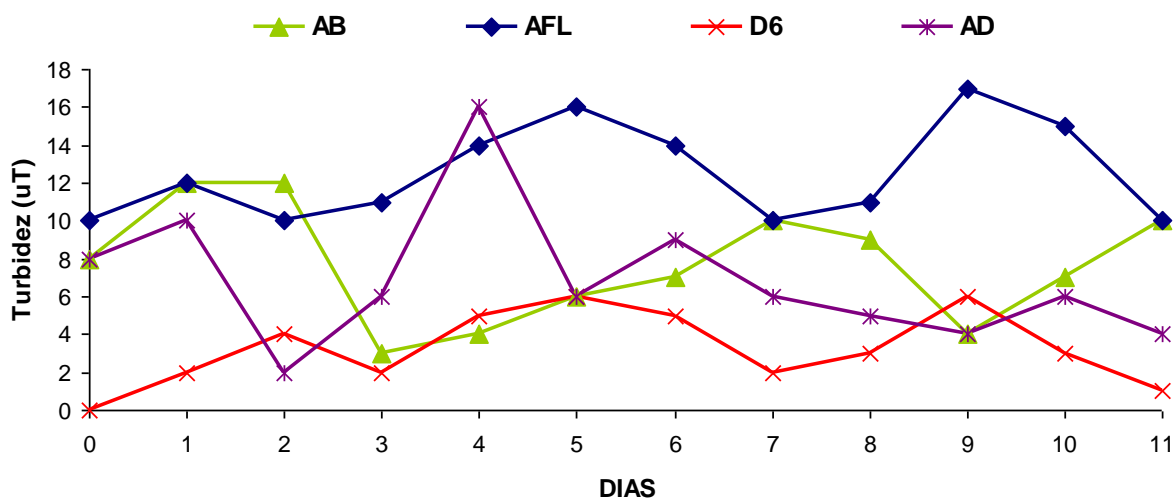


Gráfico 7: Série temporal - Valores de turbidez do decantador 6 na Fase 1

Verifica-se, nos Gráficos de 2 a 7, que os valores de turbidez remanescente obtidos nas amostras de água bruta são, algumas vezes, superiores as obtidas na água floculada. Isto pode ter ocorrido por floculação inadequada, já que o normal seria que os valores da amostra de água floculada fossem maiores que o da água bruta, uma vez que esta recebeu coagulante.

Além disso, observaram-se momentos de variação repentina na turbidez da água bruta entre 3 a 14 uT, tendo valores médios de 8 a 10 uT, o que pode ser explicado pela lixiviação durante esta fase. Os valores obtidos para água floculada variaram entre 7 e 18 uT, atingindo valores médios de 10 a 13 uT.

Os valores de turbidez do efluente dos decantadores, individualmente, variaram entre 1 a 10 uT, com valores médios de 4 a 5 uT. Nas amostras de água decantada (canal) os valores oscilaram entre 2 a 16 uT, atingindo valores médios de 7 a 8 uT.

Foi observado nos seis gráficos que as amostras de água decantada (canal) e de cada decantador apresentaram, também, grande oscilação. Isso pode ser explicado devido ao tempo que o lodo fica armazenado e a sobrecarga hidráulica, fazendo com que esse lodo seja carregado e depois volte a acumular na bandeja. Vale ressaltar, que os decantadores foram projetados para operarem com descargas diárias de lodo, porém estavam sendo operados com descarga de aproximadamente 12 dias, fato esse que acabava sobrecarregando a unidade.

Nesse sentido, PÁDUA (1999) observa que o manto de lodo que se forma no decantador, durante certo período, favorece a floculação das partículas, melhorando a qualidade da água decantada, contudo, à medida que aumenta seu volume, o lodo pode ser arrastado para as proximidades das calhas coletoras de água decantada. Antes que isso ocorra, o decantador deve ser retirado de operação para limpeza. Vale observar, que o aumento da turbidez da água decantada pode conduzir a redução da carreira de filtração, devido à sobrecarga de sólidos nos filtros.

Dessa forma, o desempenho da unidade de decantação é influenciado tanto pela qualidade da água floculada, como também, pela rotina de lavagem dos decantadores. O fato do intervalo de lavagem de aproximadamente 12 dias ter sido estabelecido por critérios práticos, justifica a avaliação desse procedimento operacional com base em determinações laboratoriais.

## Cor Aparente

Nos Gráficos de 8 a 13, têm-se os resultados da série temporal dos valores de cor aparente nas amostras de água bruta, água floculada, efluente de cada decantador e água decantada (canal).

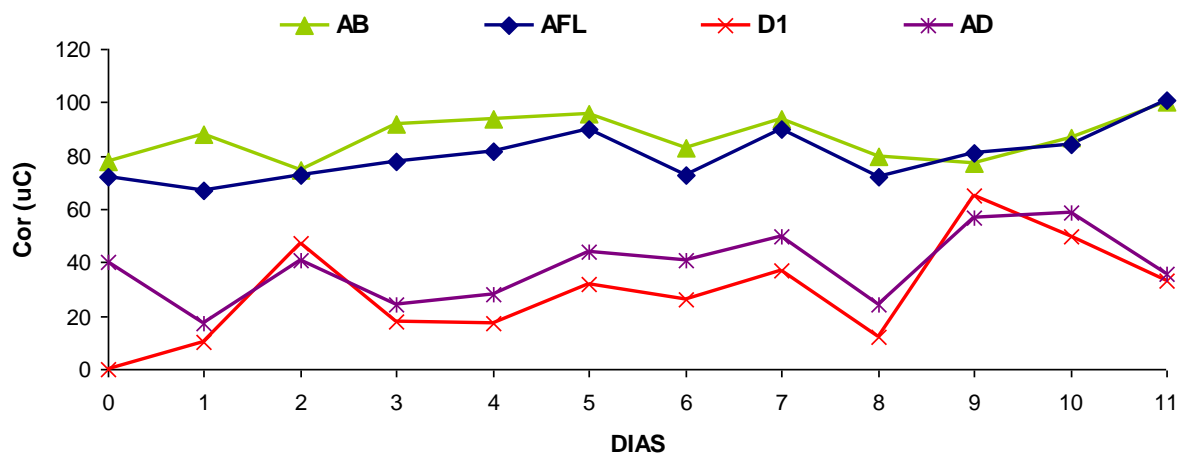


Gráfico 8: Série temporal - Valores de cor aparente do decantador 1 na Fase 1

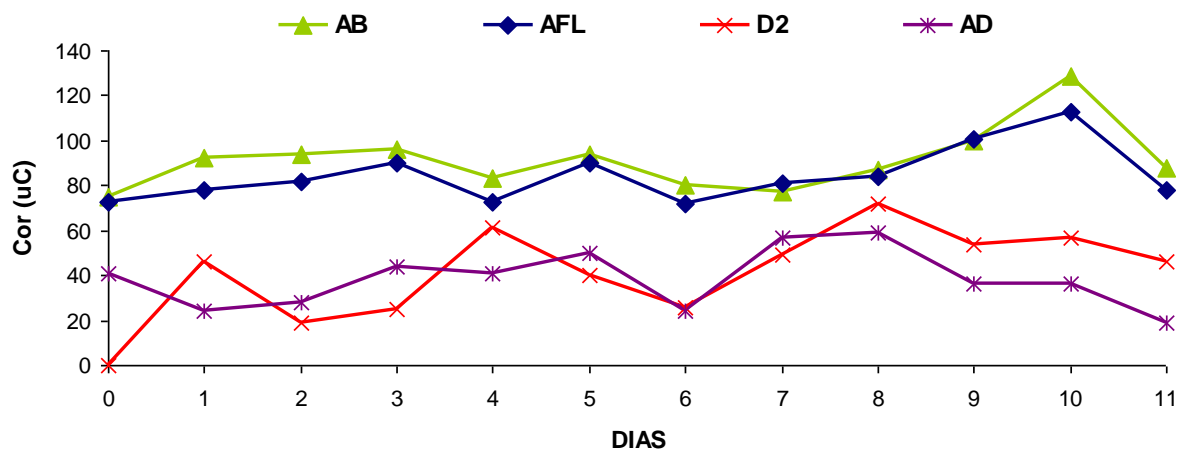


Gráfico 9: Série temporal - Valores de cor aparente do decantador 2 na Fase 1

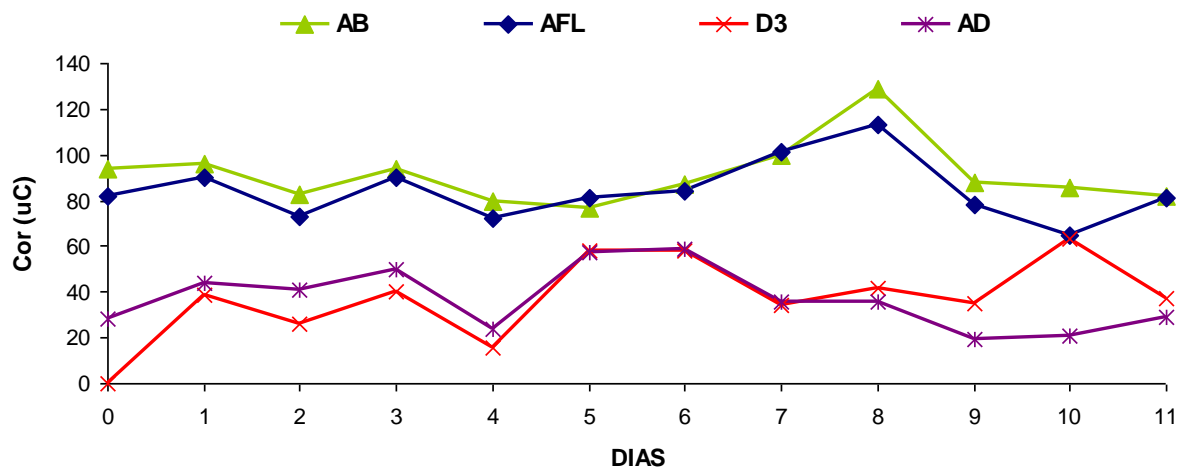


Gráfico 10: Série temporal - Valores de cor aparente remanescente do decantador 3 na Fase 1

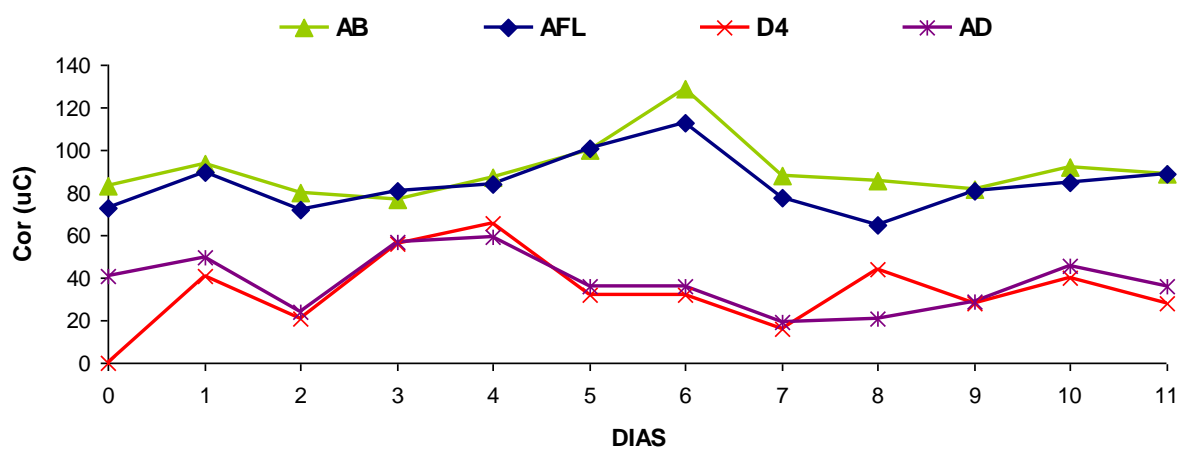


Gráfico 11: Série temporal - Valores de cor aparente do decantador 4 na Fase 1

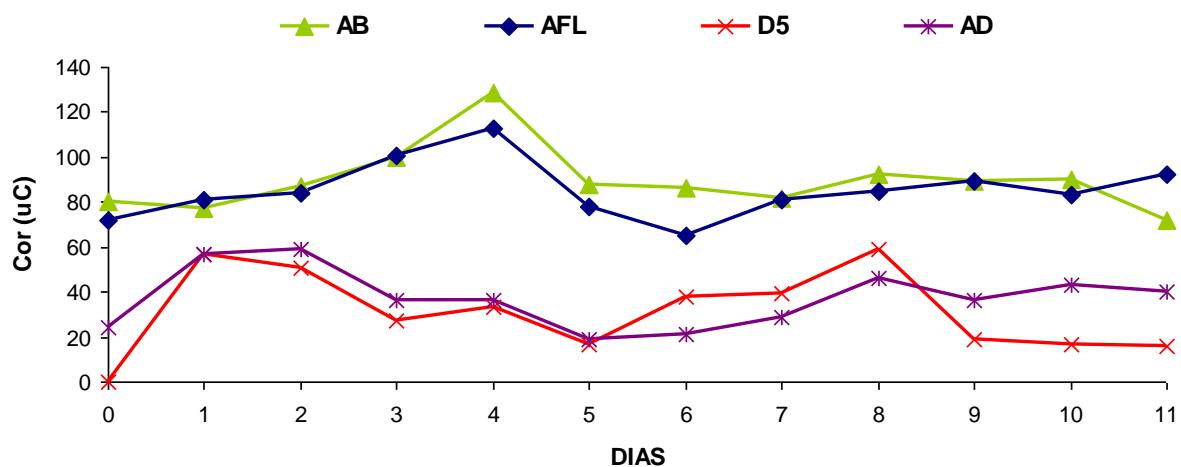


Gráfico 12: Série temporal - Valores de cor aparente do decantador 5 na Fase 1

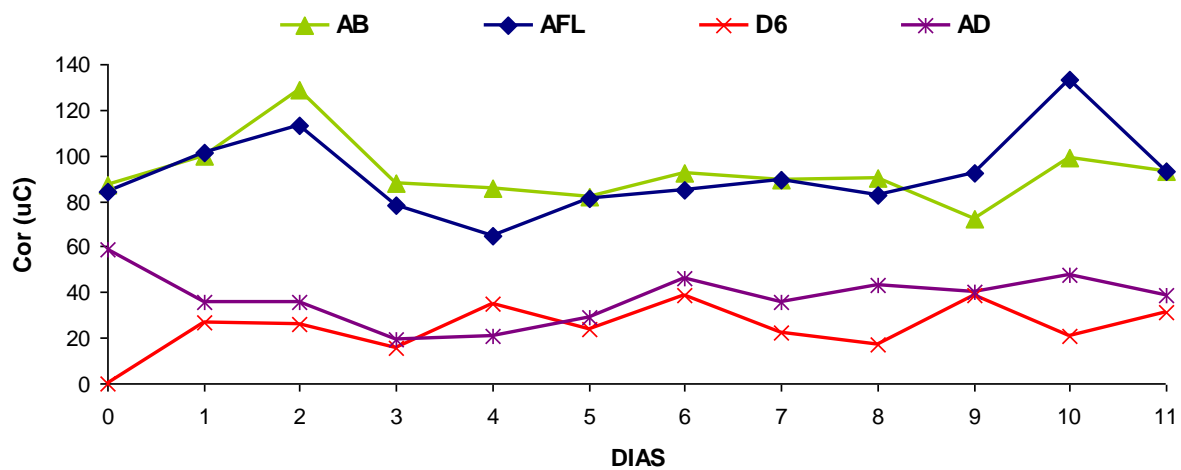


Gráfico 13: Série temporal - Valores de cor aparente do decantador 6 na Fase 1

Foi observado nos Gráficos de 8 a 13, que as amostras da água bruta apresentaram intensa variação nos valores de cor aparente remanescente, o que pode ser explicado pela lixiviação no período das atividades.

Nas amostras de água bruta e de água floculada os valores de cor remanescente se mantiveram parecidos, e em alguns momentos as amostras de água bruta apresentaram valores superiores aos das amostras de água floculada, sendo novamente justificado pela ineficiência da unidade de floculação. Vale ressaltar que, a maioria dos agitadores mecânicos dos floculadores, no período das atividades, encontravam-se fora de operação.

Nas amostras de água bruta os valores de cor remanescente variaram entre 72 a 129 uC, com valores médios de 87 a 92 uC. Os valores obtidos para água floculada variaram entre 65 a 133 uC, atingindo valores médios de 80 a 91 uC.

Conforme pode ser observado nos Gráficos de 8 a 13, as amostras de água de cada decantador apresentam, assim como na turbidez, grande oscilação. Isso novamente pode ser explicado pelo tempo que o lodo fica armazenado no decantador e pela sobrecarga hidráulica, o que pode estar provocando o carreamento dos sólidos.

Apesar do projeto executivo da ETA Bolonha recomendar que a água decantada apresente cor entre 5 a 10 uC, isso não foi verificado nas amostras dos decantadores, sendo observado nas amostras valores entre 10 a 72 uC, com valores médios de 27 a 45 uC. Dados das amostras de água decantada, realizadas no canal, confirmaram esses resultados, sendo obtidos valores de cor de 17 a 59 uC, com valores médios de 37 a 38 uC.

### Sólidos Suspensos Totais

Nos Gráficos de 14 a 19 é apresentada à série temporal dos valores de sólidos suspensos totais (SST) nas amostras de água bruta, água floculada, efluente de cada decantador e água decantada (canal).

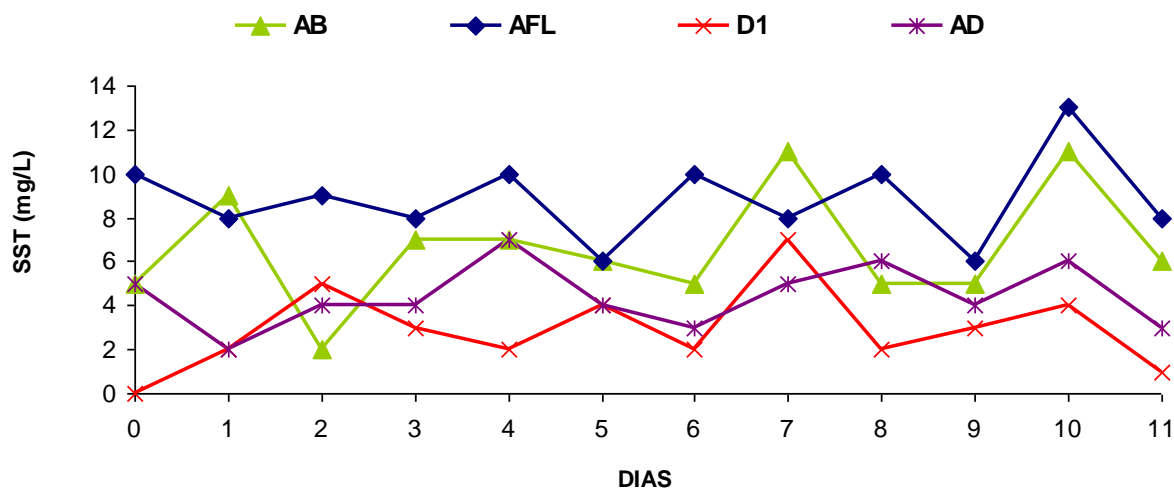


Gráfico 14: Série temporal - Valores de SST do decantador 1 na Fase 1

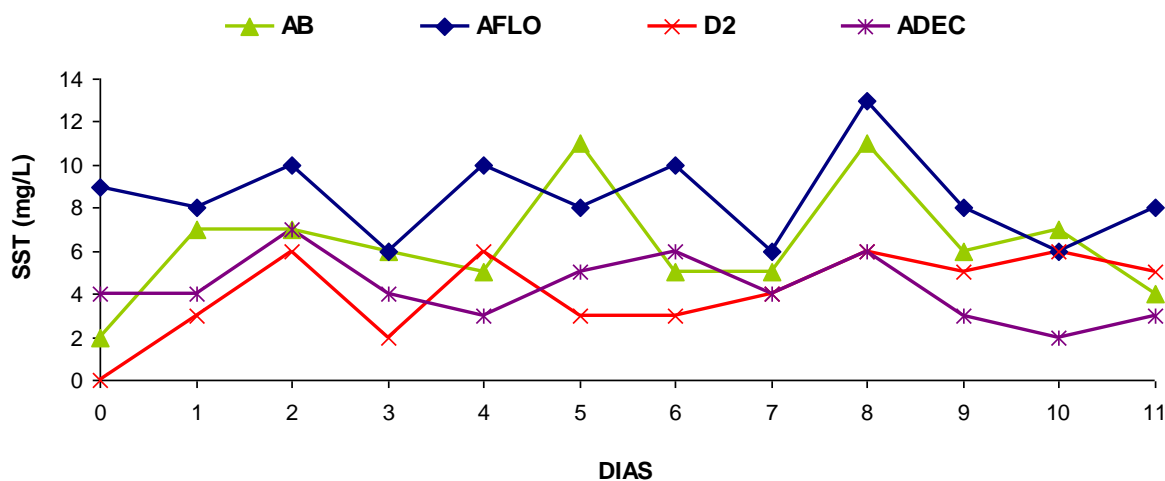


Gráfico 15: Série temporal - Valores de SST do decantador 2 na Fase 1

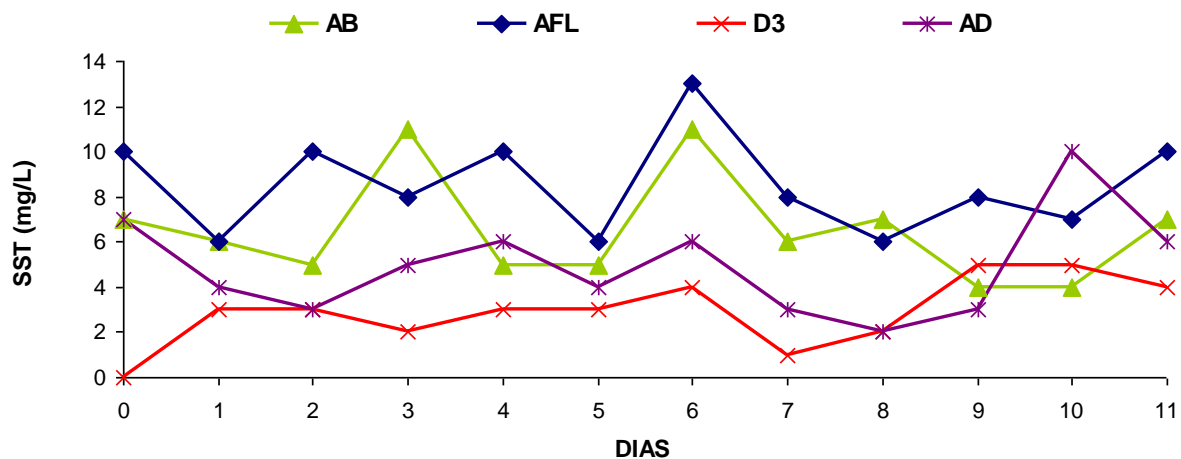


Gráfico 16: Série temporal - Valores de SST do decantador 3 na Fase 1

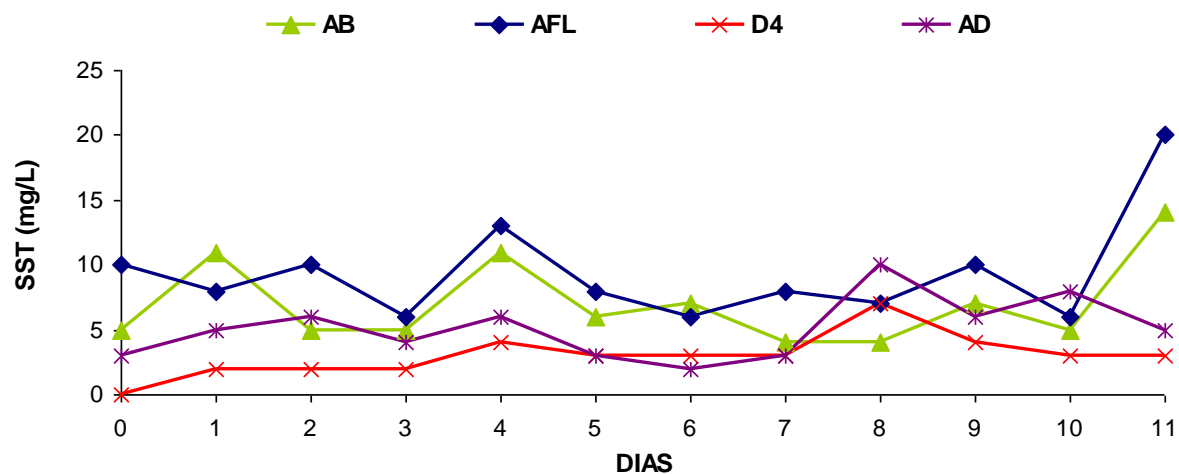


Gráfico 17: Série temporal - Valores de SST do decantador 4 na Fase 1



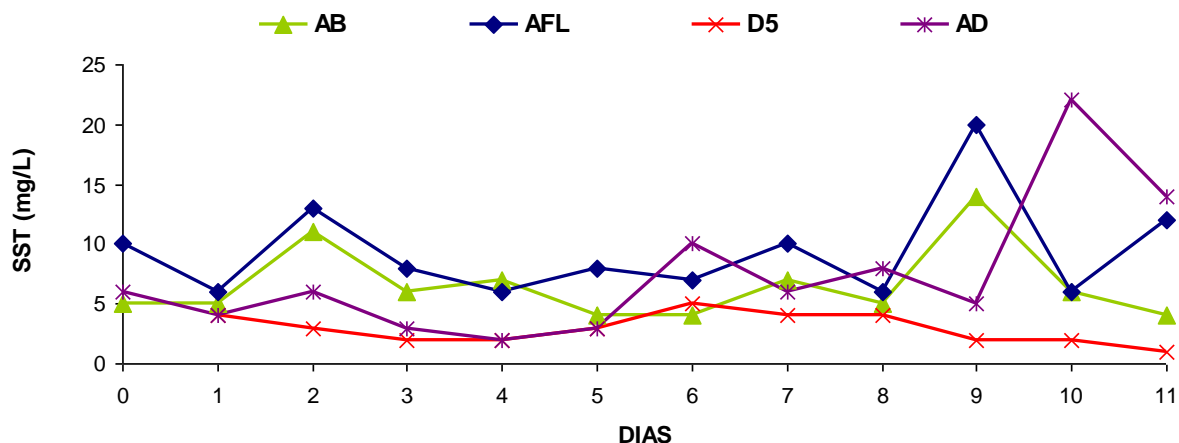


Gráfico 18: Série temporal - Valores de SST do decantador 5 na Fase 1

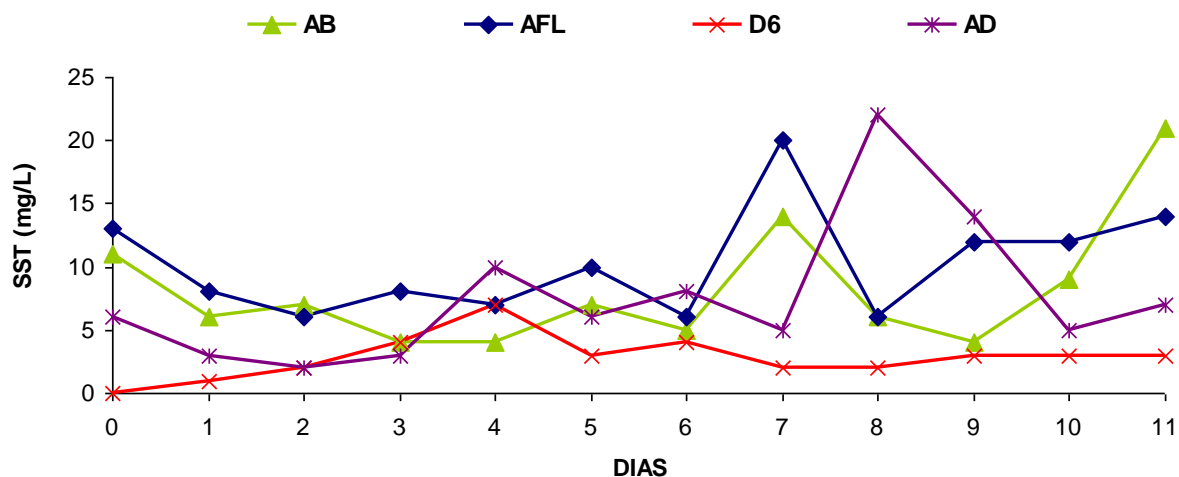


Gráfico 19: Série temporal - Valores de SST do decantador 6 na Fase 1

Foram observadas nas amostras de água bruta variação repentina para os valores de SST, sendo esse fato explicado pela lixiviação no período das atividades, tendo como valores médios de 6 a 8 mg/L. Para as amostras de água floculada foram obtidos valores médios de 9 a 10 mg/L.

Os SST apresentaram concentrações médias de 4 mg/L no decantador 2 e 3 mg/L nos demais decantadores. As amostras de água de decantada (canal), apresentaram médias de 4 a 8 mg/L.

Os valores médios de cor aparente, turbidez e SST da água floculada e da água decantada de cada decantador são apresentados na Tabela 8, e a faixa de valores de eficiência de remoção dessas variáveis são mostrados na Tabela 9.

Tabela 8 - Resultados dos valores médios das variáveis analisadas nos decantadores da ETA Bolonha

Variáveis	D1		D2		D3		D4		D5		D6		*US	
	AFL	AD	AFL	AD	AFL	AD	AFL	AD	AFL	AD	AFL	AD	AFL	AD
Turbidez (uT)	11	4	11	5	11	4	12	5	12	4	13	4	13	7
Cor Aparente (uC)	80	32	85	45	84	41	84	37	85	34	91	27	91	38
SST (mg/L)	9	3	9	4	9	3	9	3	9	3	10	3	10	8

\*Unidade de sedimentação

Tabela 9 - Eficiência dos decantadores da ETA Bolonha

Variáveis	D1		D2		D3		D4		D5		D6		US	
	*FV (%)	**M	FV (%)	M	FV (%)	M	FV (%)	M	FV (%)	M	FV (%)	M	FV (%)	M
Turbidez (uT)	-43 a 86	56	25 a 87	51	29 a 83	64	22 a 86	57	30 a 88	65	60 a 90	73	-29 a 80	45
Cor Aparente (uC)	20 a 85	61	14 a 77	47	3 a 78	50	21 a 79	56	30 a 83	60	46 a 84	69	30 a 76	58
SST (mg/L)	13 a 88	61	0 a 70	46	29 a 88	60	0 a 85	60	29 a 92	62	0 a 90	63	-43 a 75	34

\*FV: faixa de variação

\*\*M: média

Conforme pode ser observado na Tabela 9, a eficiência de remoção de turbidez em cada decantador sofreu grandes variações diárias, apresentando em média, no período monitorado, valores entre 51% e 73%. Em relação à unidade de sedimentação, o percentual médio de remoção foi de 45%.

O projeto executivo da ETA Bolonha recomenda que o decantador remova 90% da turbidez da água floculada, portanto, verifica-se que os decantadores da ETA Bolonha apresentam eficiência baixa em relação à remoção de turbidez remanescente.

Nos efluentes dos decantadores foram encontrados valores de cor acima da faixa recomendada no projeto executivo (Tabela 8), sendo de 32 uC no efluente do decantador 1, 45 uC no decantador 2, 41 uC no decantador 3, 37 uC no decantador 4, 34 uC no decantador 5 e 27 uC no decantador 6. Na saída da unidade de sedimentação, a massa líquida apresentava 38 uC, ou seja, valor bem superior ao recomendado para esse tipo de unidade, que é de 5 a 10 uC.

Com relação a determinação da média de SST, no período monitorado, observa-se que a eficiência de remoção nos decantadores variou entre 46% a 63%. Em relação à unidade de sedimentação, o percentual médio de remoção foi de 34%. Dessa forma, verifica-se que os decantadores da ETA Bolonha apresentam baixa eficiência em relação à remoção de SST.

Dessa forma, conclui-se que o desempenho operacional dos decantadores está sendo comprometido pela sobrecarga hidráulica (19%), já que a taxa de escoamento superficial e o tempo de detenção hidráulica dependem da relação vazão/unidade de superfície e volume do decantador/vazão, respectivamente. Na Tabela 10 são comparados os valores de projeto, os da operação atual e recomendados pela NBR 12216 (1992).

Tabela 10 - Comparação entre os valores de projeto, os valores atuais, a NBR e a literatura técnica

Decantadores		Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Vazão por decantador (m <sup>3</sup> /s)	Taxa de aplicação superficial (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d)	Tempo de detenção hidráulica (hora)	Velocidade de escoamento horizontal (m/s)
Projeto	6	3,36	0,56	46	1,5	0,0093
	*5	3,36	0,67	55	1,3	0,0112
Operação	6	4,00	0,67	54	1,3	0,0111
	5	4,00	0,8	65	1,1	0,0133
NBR 12216		-	-	40	2-3	0,0084

\* 5 decantadores em operação

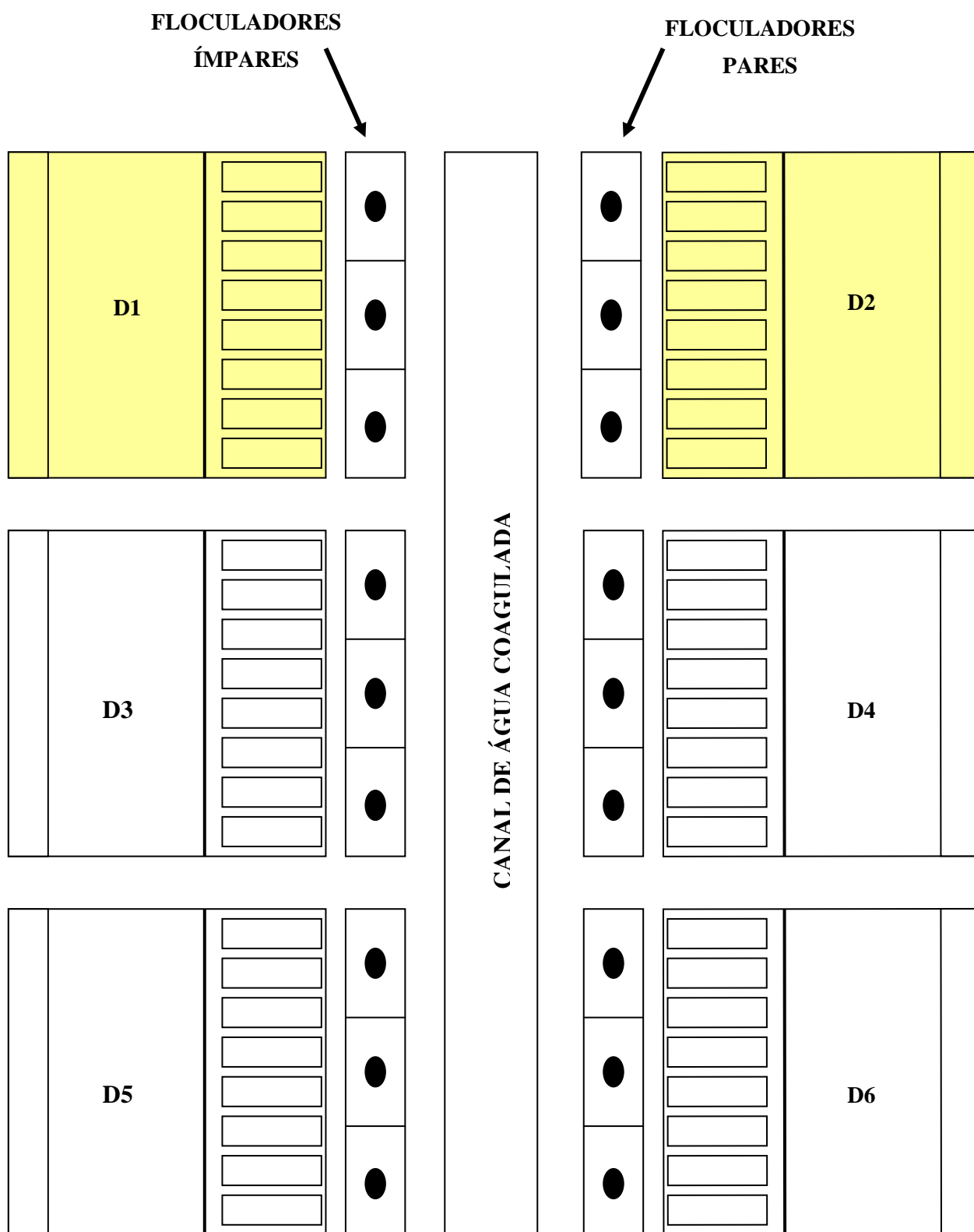
A NBR 12216 (1992), no Item 5.10.4.1, estabelece que a taxa de escoamento superficial máxima deve ser de 40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia, em estações com capacidade superior a 10.000 m<sup>3</sup>/dia. Assim, é observado na Tabela 10 que a taxa de 54 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia que está sendo aplicada na ETA Bolonha se encontra acima do valor máximo permitido pela Norma.

A velocidade média de escoamento horizontal que prevalece nos decantadores da ETA Bolonha é igual a 67 cm/min. Vale ressaltar que a NBR estabelece que a taxa de  $40 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  corresponde a velocidade de sedimentação dos flocos igual a 2,80 cm/min. Portanto, o valor máximo admitido para velocidade de escoamento horizontal nos decantadores da ETA Bolonha seria de 50,4 cm/min ou 0,0084 m/s.

Dessa forma, pode-se concluir que a velocidade de escoamento horizontal da ETA não é satisfatória, pois não se encontra dentro do valor máximo permitido que é 0,0084 m/s. Assim, é possível verificar que a unidade de decantação funciona como se somente 5 decantadores estivessem operando.

Em razão disso, é necessário que os procedimentos destinados a melhorar o desempenho da unidade de sedimentação sejam feitos de forma criteriosa, levando-se em consideração não apenas os fatores diretamente relacionados aos decantadores, mas também aqueles relacionados às unidades de mistura rápida, de floculação e de filtração.

Com os valores da Tabela 9 é possível verificar que o decantador 2 foi o que apresentou menor eficiência em todas as variáveis, motivo pelo qual optou-se por escolher este decantador e o decantador 1 para a 2ª fase experimental, já que as condições de operação hidráulicas são semelhantes em função da disposição dessas unidades na ETA Bolonha, conforme Esquema 28.



Esquema 28 - Representação esquemática da unidade de sedimentação da ETA Bolonha

### 7.1.2 Etapa 2 - Quantificação do lodo produzido nos decantadores da ETA Bolonha

Essa etapa teve duração de 30 dias (18/02/03 a 19/03/03), na qual os decantadores eram lavados de 12 em 12 dias. Isto significa a lavagem de um decantador a cada dois dias, representando 16 lavagens no mês. Multiplicando-se o número de lavagens pelo volume total do decantador que é de 3.429 m<sup>3</sup>, obtém-se um total de 54.864 m<sup>3</sup> de resíduos gerados por mês, sendo 48.280 m<sup>3</sup> de água parcialmente tratada (massa líquida) e 6.584 m<sup>3</sup> de lodo (massa sólida). Dividindo-se esse total pela vazão de água tratada na ETA Bolonha, que é de 10.368.000 m<sup>3</sup>/mês, obtém-se o percentual de 0,53% de perda de água tratada por mês. No cálculo não foi levada em consideração a água utilizada para a lavagem das paredes, calhas e bandeja internas dos decantadores, pela dificuldade de determinação do referido volume.

De acordo com Castro *et al.* (1997), a vazão média de resíduos gerados em uma ETA encontra-se na faixa de 1 a 3% da água processada na ETA, sendo que 10% desse valor é referente à descarga de decantadores e 90% à água de lavagem de filtros. Portanto, o percentual dos resíduos gerados nos decantadores da ETA Bolonha (0,53%) é superior aos valores citados na literatura técnica. Segundo Grandin, Além Sobrinho e Garcia Jr. (1993), o volume gerado na descarga do decantador pode variar de 0,06 a 0,25% do volume de água tratada na ETA. Dessa forma, o volume de lodo dos decantadores da ETA Bolonha representa o dobro deste valor.

Segundo Machado (2003) a quantidade mensal de sólidos ( $T_{sm}$ ) gerados pelo lodo proveniente da descarga dos decantadores pode ser obtida pela multiplicação da concentração de SST com a vazão mensal de lodo ( $ql$ ), conforme a equação:

$$T_{sm} = SST \cdot ql$$

Considerando que a concentração média de SST nesta fase foi de 1.725 mgSST/L e a vazão de lodo na unidade de decantação de 54.864 m<sup>3</sup>/mês, tem-se a produção de 95 toneladas de resíduos por mês nos decantadores da ETA Bolonha.

Esse dado demonstra que a rotina operacional dos decantadores deve ser revista, com a finalidade de reduzir o volume de lodo produzido e, conseqüentemente, a geração de sólidos, além de aumentar a produção de água tratada. Na Fotografia 27 é mostrada a lavagem do decantador 2 da ETA Bolonha.



**Fotografia 27** - Lavagem do decantador 2 da ETA Bolonha

Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)

### *7.1.3 Etapa 3 – Determinação da concentração de sólidos descartado no lodo produzido nos decantadores da ETA Bolonha*

Nessa etapa foram realizadas determinações físicas (ST, SST e SSED), durante o período de 28/02/03 a 12/03/03, sendo coletadas amostras do descarte de lodo em duas lavagens do decantador 2. As tabelas com todos os resultados obtidos para cada parâmetro, em cada uma das duas coletas estão no apêndice B.

A concentração média de ST obtidas no decantador 2 durante as duas descargas foram de 3.182 mgST/L na coleta 1 e 3.126 mgST/L na coleta 2. Estes valores estão condizentes com os encontrados na literatura técnica, conforme pode ser observado na Tabela 11. No Gráfico 20 é apresentada a evolução da concentração de ST ao longo do período no decantador 2.



Tabela 11 - Concentração de ST obtidos em decantadores

ST (mg/L)	Pesquisador	Fonte
12.750	SEREC (1987); JNS (1989)	YUZHU (1996)
100 a 16.000	-	TEIXEIRA (1999)

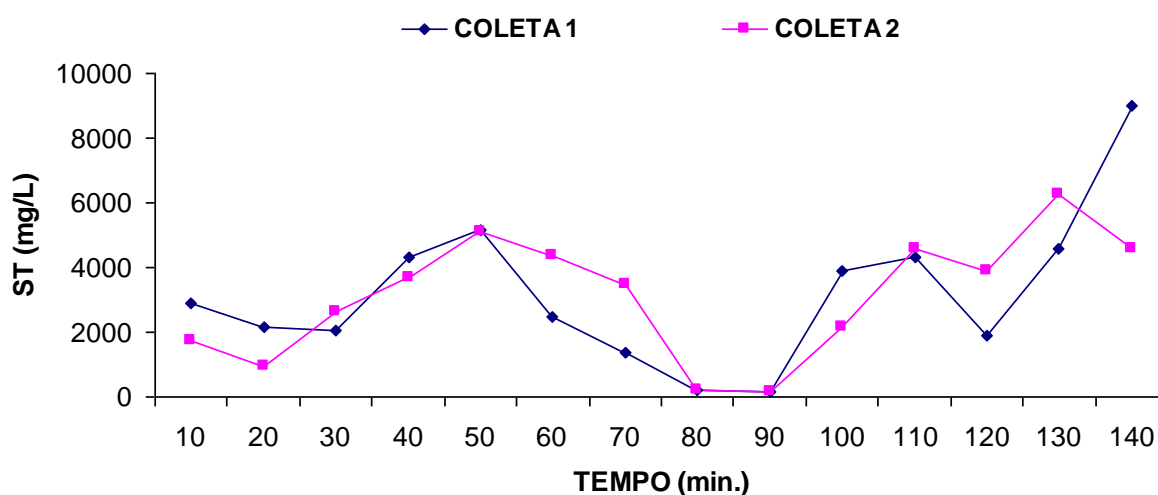


Gráfico 20: Concentração de ST no lodo descartado pelo decantador 2 na Fase 1

Os SST apresentaram concentrações médias de 1.709 mgSST/L, e 1.741 mgSST/L nas coletas 1 e 2, respectivamente. Observa-se no Gráfico 21 a relação de SST e ST para cada coleta, e a média geral de 54,7%.

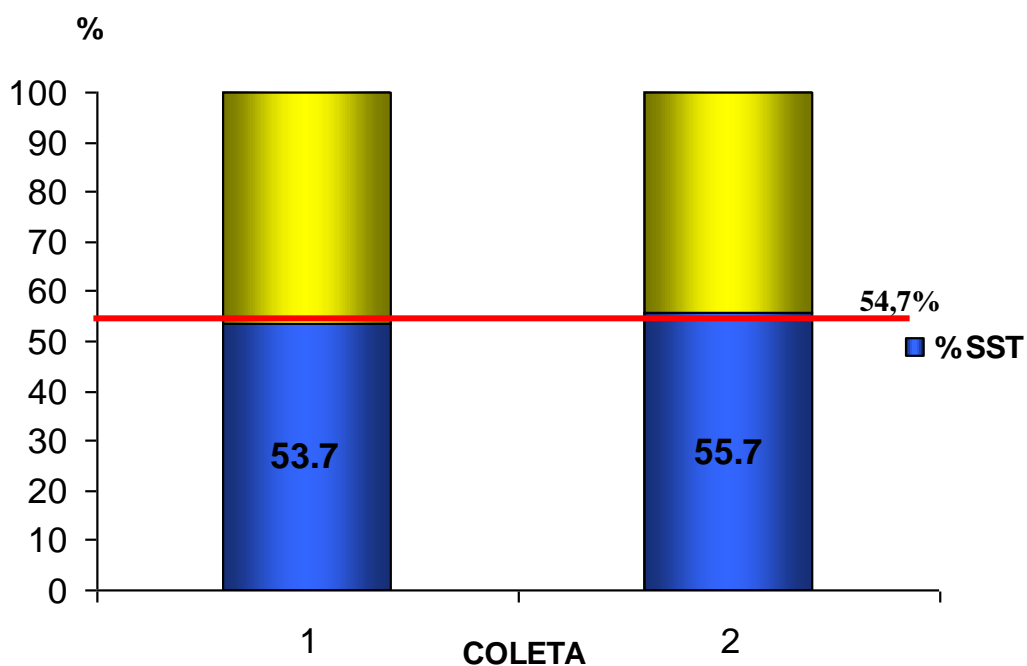


Gráfico 21: Relação SST e ST nas coletas de lodo do decantador 2 na Fase 1

A variação de SSed durante a descarga do decantador 2 apresentou comportamento semelhante aqueles observado para os sólidos totais. O Gráfico 22 apresenta o comportamento verificado em cada coleta ao longo do período. Os valores médios de SSed obtidos nas duas coletas foram de 321 mLSSed/L para a coleta 1 e 294 mLSSed/L para a coleta 2.

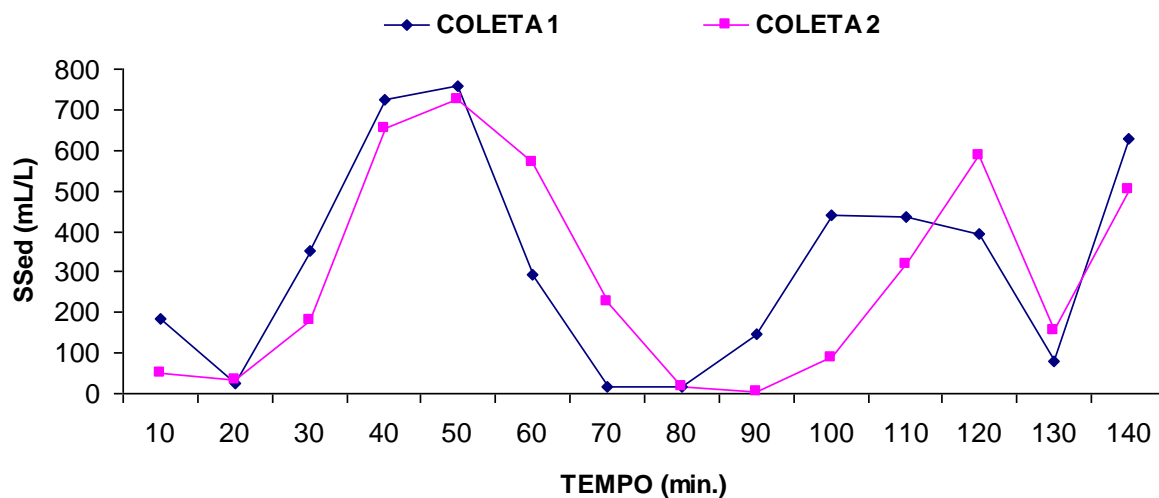


Gráfico 22: Variação dos SSed durante o tempo de descarga do decantador 2 na Fase 1

Em síntese, o lodo do decantador 2 da ETA Bolonha apresentou as características físicas mostradas na Tabela 12.

Tabela 12 - Características do lodo dos decantadores da ETA Bolonha

Variáveis	Unidade	Valor Médio
ST (mg/L)	mg/L	3.154
SST (mg/L)	mg/L	1.725
Ssed (mL/L)	mL/L	307,5

Machado (2003) cita que apesar do volume de resíduos gerados nos decantadores ser menor que o volume gerado nos filtros, a sua carga poluidora é mais elevada, o que justifica um tratamento específico para o problema.

## 7.2 – FASE 2 – AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS DECANTADORES 1 E 2 DA ETA BOLONHA COM REMOÇÃO DIÁRIA DE LODO

### 7.2.1 Etapa 1 - Avaliação da eficiência dos decantadores 1 e 2 com descargas diárias de lodo

O monitoramento dessa etapa foi realizado através de determinações físicas (turbidez, cor e SST), durante o período de 11/09/03 a 10/10/03. Na Tabela 13 é mostrada a estatística básica para as variáveis propostas nas análises rotineiras dos decantadores selecionados. As tabelas com os resultados dessas variáveis estão no apêndice C.

Tabela 13 - Estatística básica para os resultados da etapa 2

Variáveis	Nº de Amostras	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio Padrão	Coefficiente Variação
Turbidez D1 (uT)	29	1	4	2	2.21	0.82	37.09%
Turbidez D2 (uT)	28	1	6	3	3.32	1.16	34.82%
Cor D1 (uC)	29	11	36	18	19	6.01	31.61%
Cor D2 (uC)	28	16	40	21	23	6.21	27.37%
SST D1 (mg/L)	29	1	7	2	2.21	1.68	76.00%
SST D2 (mg/L)	28	1	9	2	2.64	2.09	79.25%

### **Turbidez**

Conforme pode ser observado na Tabela 13 os valores de turbidez remanescente nas amostras de água do decantador 1 variaram entre 1 e 4 uT, apresentando valores médios de 2.21 uT, desvio padrão de 0.82 e coeficiente de variabilidade de 37,09%, o que significa baixa dispersão dos valores encontrados. Os valores de turbidez no efluente do decantador 2 apresentaram variação entre 1 a 6 uT, apresentando valores médios de 3.3214 uT, desvio padrão de 1.1564 e coeficiente de variabilidade de 34,82%, o que significa, novamente, grande homogeneidade entre os valores dos dois decantadores. O Gráfico 23 apresenta a série temporal para remoção de turbidez remanescente para cada decantador.

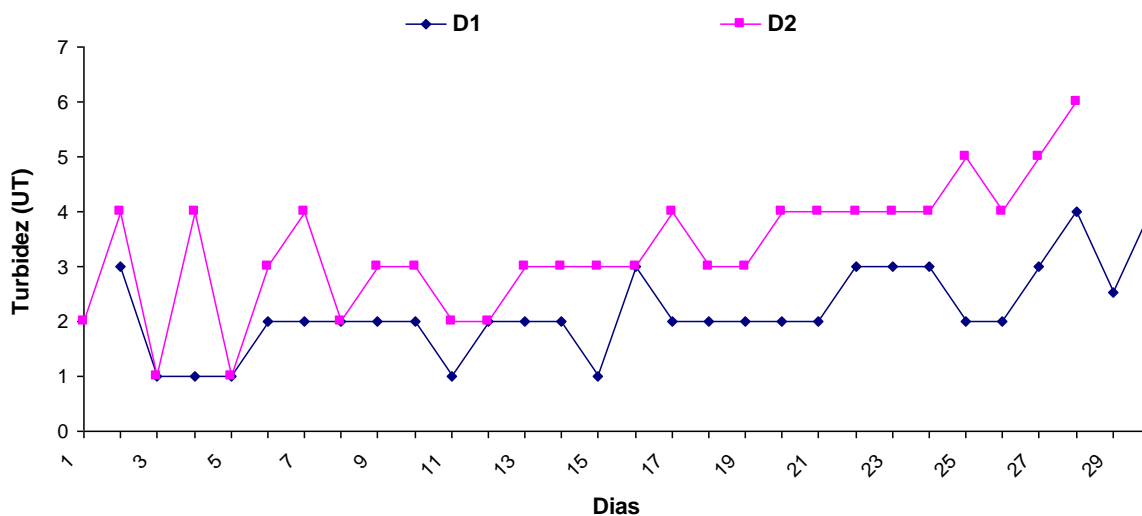


Gráfico 23: Série temporal - variação de turbidez remanescente nos decantadores 1 e 2 na Fase 2

No Gráfico 23 é observado que no decantador 1 os valores de turbidez foram aumentando a partir do 22º dia de operação, quando houve o surgimento de bolhas de gás em razão da degradação do lodo no fundo do decantador. No 28º dia o lodo começou a flotar (Fotografia 28), sendo que no 29º começou a desprender-se placas de lodo fermentado, que ficaram sobrenadando no decantador.



Fotografia 28 - Lodo flutando no decantador 1 (28 dias de operação) na Fase 2  
Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)

No decantador 2 o lodo flutuou com 21 dias (Fotografia 29), sendo que no 24º dia o decantador apresentava bastante desprendimento de placas de lodo fermentado (Fotografia 30) que foram arrastados para as calhas coletoras, conforme pode ser observado nas Fotografias 31 e 32. Este decantador operou somente 28 dias, no qual se encontrava com a superfície totalmente cheia de lodo (Fotografia 33). O desprendimento de flocos tornou-se mais intenso com o passar dos dias, isto ocorreu devido ao acúmulo de lodo em cima da bandeja ter aumentado, resultando na decomposição e no surgimento de bolhas de gás. Esse fato explica a grande variabilidade nos valores de turbidez remanescente encontradas nesse decantador.



Fotografia 29 - Lodo flutando no decantador 2 (21 dias de operação) na Fase 2  
Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)



Fotografia 30 - Desprendimento de placas de lodo no decantador 2 (24 dias de operação) na Fase 2  
Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)





Fotografia 31 e 32 - Lodo arrastados para as calhas coletoras no decantador 2 na Fase 2

Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)



Fotografia 33 - Lodo flotando no decantador 2 (28 dias de operação) na Fase 2

Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)

Foi verificado que o lodo que flotava era o que ficava sedimentado na bandeja, pois, toda vez que o sistema auxiliar para remoção de lodo da bandeja intermediária era acionado havia desprendimento de lodo. Isso pode ter ocorrido devido os flocos possuírem baixa sedimentabilidade, uma vez que a unidade de floculação não estava em operação, o que pode estar gerando um floco com baixo peso específico. Assim, o acionamento do sistema auxiliar possibilitava a desagregação do lodo depositado em cima da bandeja, propiciando a sua ascensão.

Dessa forma, concluiu-se que o sistema auxiliar para remoção de lodo da bandeja intermediária, instalado no decantador 2, acelerou o processo de desprendimento do lodo depositado em cima da bandeja, facilitando sua ascensão e prejudicando a qualidade do efluente decantado.

Na Tabela 14 são apresentados os resultados de eficiência média da turbidez, bem como suas estatísticas básicas para as amostras dessa etapa.

Tabela 14 - Estatística básica para os resultados de eficiência média de turbidez remanescente

Variável	Nº de Amostras	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio Padrão	Coefficiente Variação
Eficiência (%) D1	29	-35	89	71%	65,35%	25,27	38,68%
Eficiência (%) D2	28	-25	89	57%	51,64%	25,48	49,33%

Com relação ao coeficiente de variação, verificou-se que o decantador 2 (49,33%) apresentou maior variabilidade dos resultados em relação ao decantador 1 (38,68%), tendo uma menor eficiência de remoção de turbidez remanescente, sendo, 51,64% para o decantador 2 e 65,35% para o decantador 1. A variação dos dados de eficiência é apresentada no Gráfico 24 na forma de Box e Whiskers. No Gráfico 25 é mostrado a série temporal para eficiência de remoção de turbidez remanescente nos decantadores 1 e 2.



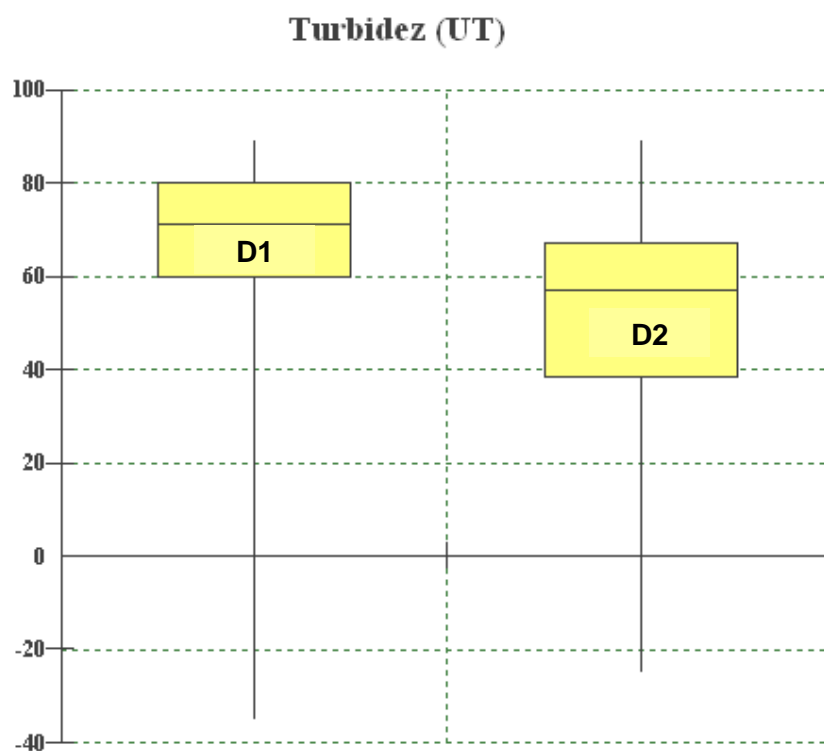


Gráfico 24: Box e Whiskers para turbidez remanescente – Fase 2

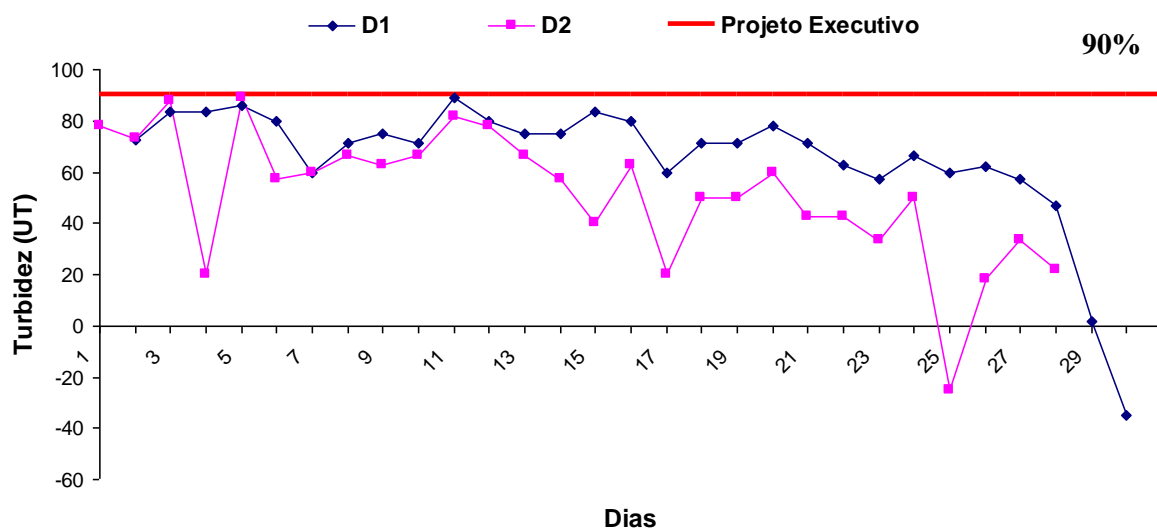


Gráfico 25: Série temporal - variação da eficiência de turbidez nos decantadores 1 e 2 na Fase 2

Conforme é mostrado no Gráfico 24, a variabilidade das amostras do efluente do decantador 2 está consideravelmente acima das do decantador 1. Este fato ocorreu devido a manipulação do sistema auxiliar de remoção de lodo da bandeja intermediária do decantador 2, que movimentava toda massa depositada em cima da bandeja, aumentando, dessa forma, a variabilidade nos valores de turbidez remanescente encontradas nesse decantador. Analisando o mesmo gráfico, pode-se constatar que cerca de 50% das amostras dos decantadores 1 e 2 estão com eficiência acima de 71 uT e 57 uT, respectivamente.

No Gráfico 25 é verificado que mesmo com a implementação da nova rotina operacional, os valores de turbidez remanescente nos dois decantadores ficaram abaixo do recomendado pelo projeto executivo, que é de 90% de remoção da turbidez da água floculada.

### ***Cor Aparente***

Os valores de cor aparente remanescente no decantador 1, mostrados na Tabela 13, apresentaram valores entre 11 uC e 36 uC, com valores médios de 19 uC e desvio padrão de 6,01. O decantador 2 apresentou variação entre 16 a 40 uC, com valor médio de 23 uC e desvio padrão de 6,21. Dessa forma, verificou-se, através do coeficiente de variação, que o decantador 1 apresentou uma variabilidade um pouco maior (31.61%) que o decantador 2 (27.37%), sendo a diferença de somente 4.24%. Essa baixa diferença demonstra que ambos apresentaram o mesmo comportamento nos resultados de redução de cor aparente remanescente do afluente com a implementação da nova rotina operacional. A série temporal para este parâmetro é apresentada no Gráfico 26.

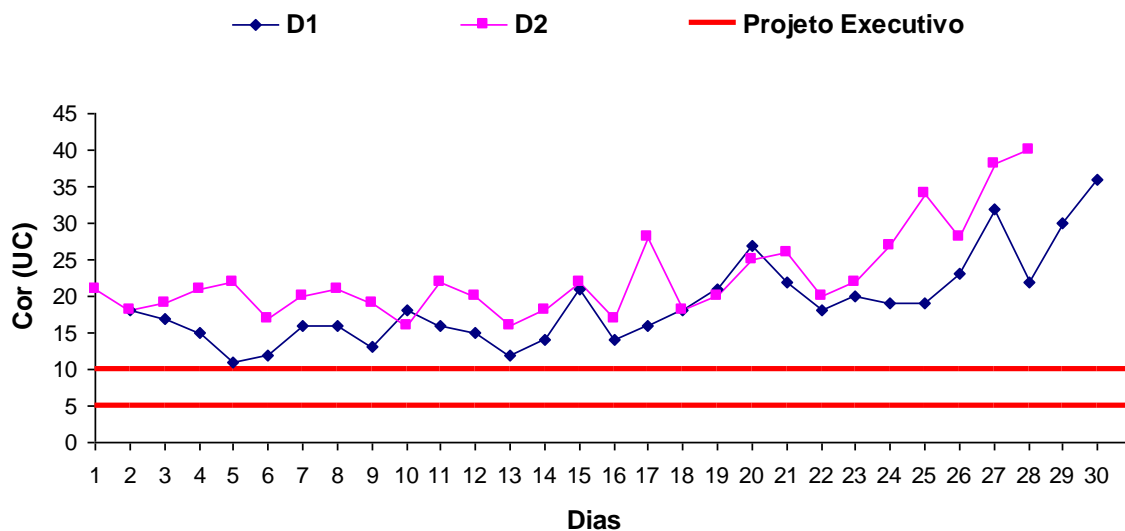


Gráfico 26: Série temporal - variação de cor aparente nos decantadores 1 e 2 na Fase 2

Conforme pode ser observado no Gráfico 26, os valores médios de 19 uC e 23 uC encontrados no efluente dos decantadores 1 e 2, respectivamente, estão bastante acima do recomendado pelo projeto executivo que é de 5 e 10 uC. Na Tabela 15 são apresentados os resultados de eficiência média de cor aparente remanescente, bem como suas estatísticas básicas para as amostras dessa etapa.

Tabela 15 - Estatística básica para os resultados de eficiência média de cor aparente remanescente

Variável	Nº de Amostras	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio Padrão	Coefficiente Variação
Eficiência (%) D1	29	30	80	69%	65,07%	12,59	19,34%
Eficiência (%) D2	28	46	73	63,5%	61,68%	8,00	12,98%

O decantador 1 (19,34%) apresentou maior variabilidade dos resultados em relação ao decantador 2 (12,98%), demonstrando uma maior eficiência de remoção de cor aparente remanescente, sendo, 65,07 para o decantador 1 e 61,68 para o decantador 2. A variação dos dados de eficiência é apresentada no Gráfico 27 na forma de Box e Whiskers. No Gráfico 28 é mostrado a série temporal para eficiência de remoção de cor aparente remanescente nos decantadores 1 e 2.

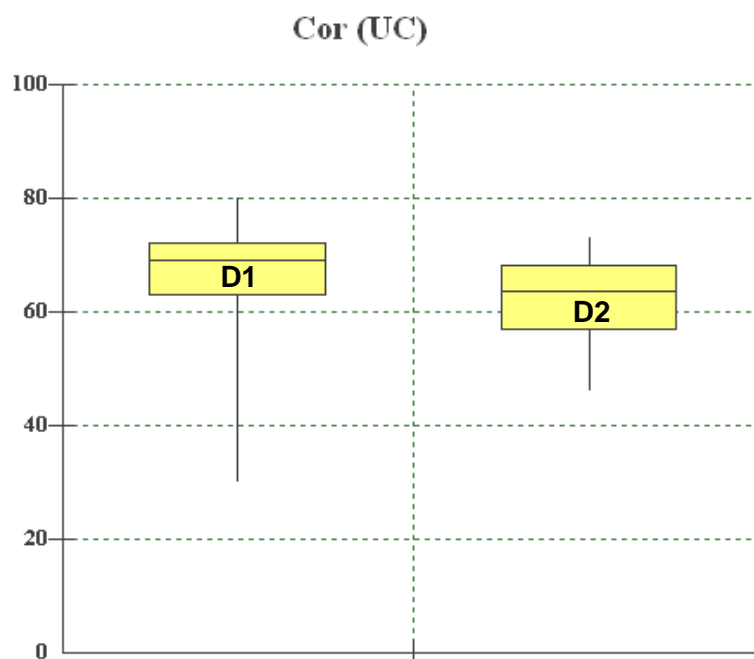


Gráfico 27: Box e Whiskers para cor aparente remanescente na Fase 2

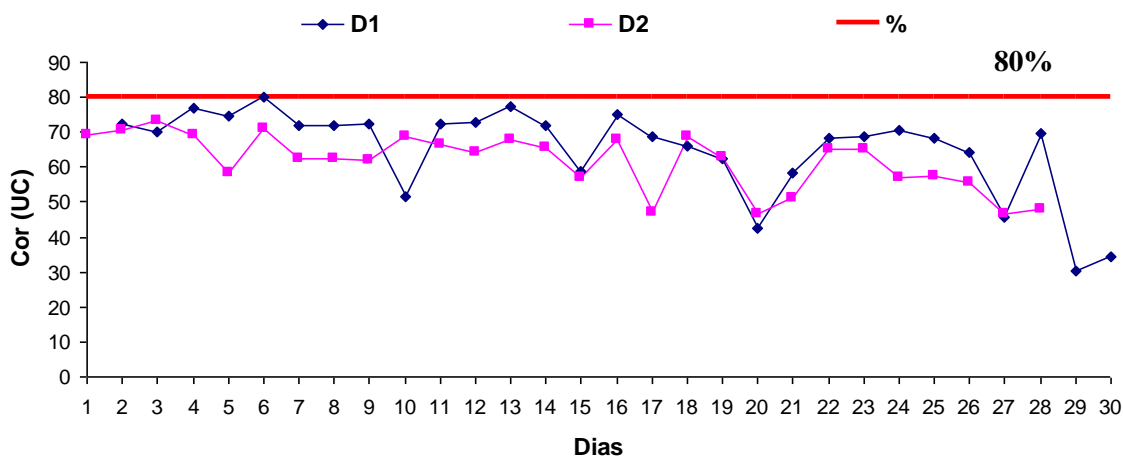


Gráfico 28: Série temporal - variação da eficiência de cor aparente nos decantadores 1 e 2 na Fase 2

No Gráfico 27 é verificado que com a implementação da nova rotina operacional os valores de eficiência de remoção de cor aparente remanescente variaram de forma bastante semelhante nos decantadores 1 e 2. Pode-se constatar no mesmo gráfico que cerca de 50% das amostras dos decantadores 1 e 2 estão com eficiência acima de 69 uC e 63,5 uC, respectivamente.

No Gráfico 28 pode se observar que com a implementação da nova rotina operacional, os valores de cor aparente remanescente nos dois decantadores ficaram abaixo de 80%.

### ***Sólidos Suspensos Totais***

É verificado na Tabela 13, que para os valores de SST o decantador 1 apresentou valores entre 1 mg/L e 7 mg/L, apresentando valores médios de 2,21 mg/L, desvio padrão de 1,68 e coeficiente de variação de 76%. O decantador 2 apresentou valores entre 1 mg/L a 9 mg/L, apresentando média de 2,64, desvio padrão de 2,09 e coeficiente de variação de 79,25%. Observa-se que o decantador 1 apresentou uma variabilidade menor que o decantador 2, porém, essa diferença é pequena, fato este que demonstra, novamente, grande homogeneidade entre os valores dos dois decantadores. O Gráfico 29 apresenta a série temporal para remoção de SST para cada decantador.

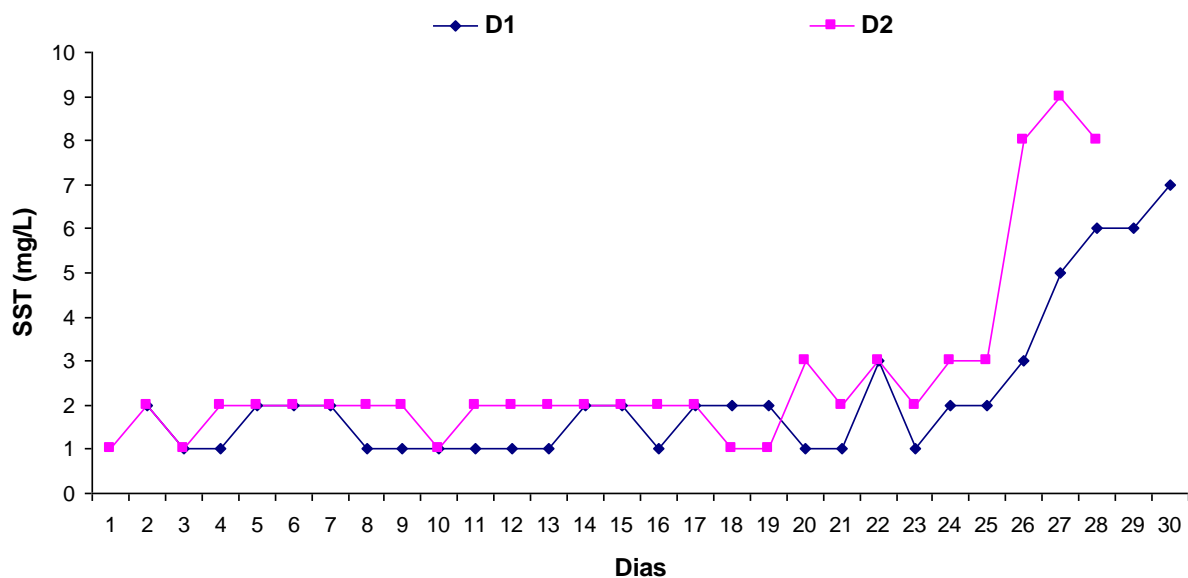


Gráfico 29: Série temporal - variação de SST nos decantadores 1 e 2 – Fase 2

No Gráfico 29 é observado que os dois decantadores apresentaram evoluções similares na concentração de SST no efluente, apresentando comportamento semelhante àqueles observados para os valores de turbidez remanescente. Na Tabela 16 são mostrados os resultados de eficiência média de SST, bem como suas estatísticas básicas para as amostras dessa etapa.

Tabela 16 - Estatística básica para os resultados de eficiência média de SST remanescentes

Variável	Nº de Amostras	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio Padrão	Coefficiente Variação
Eficiência (%) D1	29	0	83	60%	61,55%	18,21	29,59%
Eficiência (%) D2	28	-13	83	50%	49,64%	23,12	46,56%

Para os valores de coeficiente de variação, verificou-se que o decantador 2 (46,56%) apresentou maior variabilidade dos resultados em relação ao decantador 1 (29,59%) e menor eficiência de remoção de SST remanescente, sendo 49.64% para o decantador 2 e 61.55% para o decantador 1. A variação dos valores no decantador 2 pode ser explicado pela ocorrência do intenso desprendimento de flocos, da bandeja intermediária, com o passar dos dias. A variação dos dados de eficiência é apresentada no Gráfico 30 na forma de Box e Whiskers. No Gráfico 31 é mostrado a série temporal para eficiência de remoção de SST nos decantadores 1 e 2.

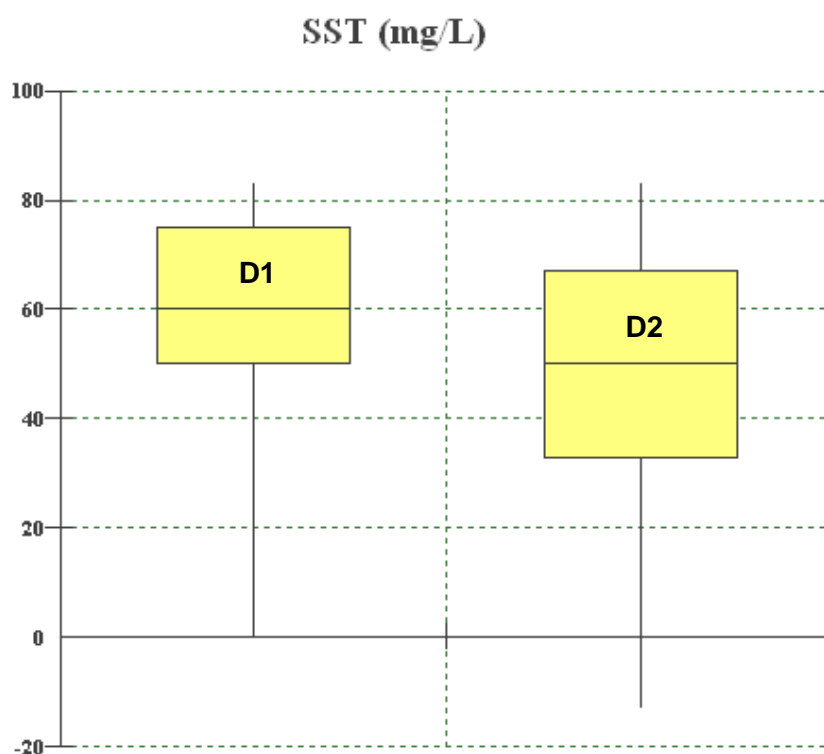


Gráfico 30: Box e Whiskers para SST na Fase 2

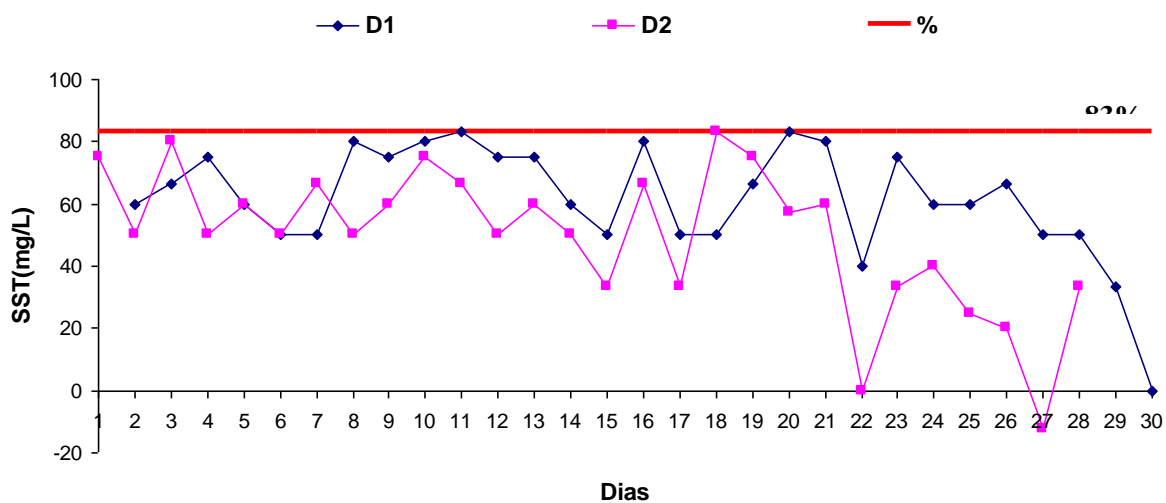


Gráfico 31: Série temporal - variação da eficiência de SST nos decantadores 1 e 2 na Fase 2

Pode ser observado no Gráfico 30 com a alteração da rotina operacional para descargas diárias a variabilidade das amostras do decantador 2 está consideravelmente acima das do decantador 1. Este fato novamente é explicado pela manipulação do sistema auxiliar de remoção de lodo da bandeja intermediária do decantador 2. Analisando o mesmo gráfico, pode-se constatar que cerca de 50% das amostras dos decantadores 1 e 2 estão com eficiência acima de 60 mg/L e 50 mg/L, respectivamente.

No Gráfico 31 pode ser verificado que, com a alteração da rotina operacional para descargas diárias os valores de SST nos dois decantadores continuaram abaixo de 83%.

Na Tabela 17 são apresentados resumos dos valores médios de cor aparente, turbidez e SST encontrados na água floculada (AFL) e na água decantada (AD) dos decantadores 1 e 2, enquanto na Tabela 18 é mostrada a faixa de valores de eficiência média de remoção dessas variáveis e o coeficiente de variação. Vale ressaltar, que as entradas de água floculada nos decantadores são diferentes, apresentando, portanto valores díspares.



Tabela 17 - Resultados dos valores médios das variáveis analisadas nos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha

Variáveis	D1		D2	
	AFL	AD	AFL	AD
Turbidez (uT)	7	2	8	3
Cor Aparente (uC)	56	19	59	23
SST (mg/L)	5	2	5	3

Tabela 18 - Eficiência dos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha

Variáveis	D1			D2		
	*FV (%)	**M	***CV (%)	FV (%)	M	CV (%)
Turbidez (uT)	-35 a 89	65	37.09	-25 a 89	52	34.82
Cor Aparente (uC)	30 a 80	65	32	46 a 73	62	27
SST (mg/L)	0 a 83	62	76	-13 a 83	50	79

\*FV: faixa de variação

\*\*M: média

\*\*\*CV: coeficiente de variação

Conforme pode ser observado na Tabela 17, as amostras do efluente dos decantadores 1 e 2 apresentaram médias de 19 uC e 23 uC e eficiências de 65% e 52% para o decantador 1 e decantador 2, respectivamente. Mesmo com a implementação da nova rotina operacional os valores continuaram bem acima ao recomendado no projeto executivo da ETA Bolonha que é de 5 a 10 uC.

A eficiência de remoção de turbidez remanescente (Tabela 18) nos decantadores 1 e 2 foi da ordem de 65% e 62%, respectivamente. Verifica-se, novamente, que mesmo com a implementação da nova rotina de operação, os valores ficaram abaixo do recomendado pelo projeto executivo da ETA Bolonha, que é de 90% de remoção da turbidez da água floculada.

Com relação a determinação de SST, foram encontrados nos decantadores 1 e 2, valores médios de 2 mg/L e 3 mg/L com eficiência de remoção de 62% e 50%, respectivamente. Dessa forma, verificou-se novamente que os decantadores da ETA Bolonha apresentam baixa eficiência em relação a este parâmetro.

### *7.2.2 Etapa 2 - Quantificação do lodo produzido nos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha*

Essa etapa teve a duração de 30 dias (11/09/03 a 10/10/03), no qual o lodo dos decantadores 1 e 2 foram descartados diariamente durante 5 minutos. Além disso, havia também, o descarte do lodo que ficava na bandeja intermediária do decantador 2 que era realizado pelo sistema auxiliar durante 20 minutos, com coletas em intervalos de 5 minutos.

Com o fechamento das comportas, de entrada e saída, o decantador 1 apresentou durante as descargas de fundo lâmina média de água drenada de 40 cm o que gerou volume médio de 6.496 m<sup>3</sup> de água perdida durante 29 dias de operação. Soma-se a este valor o volume total do decantador que é de 3.429 m<sup>3</sup>, que será esvaziado para a lavagem do mesmo, totalizando 9.925 m<sup>3</sup>/mês de água perdida nesta fase.

O decantador 2 apresentou a mesma lâmina, 40 cm, para a descarga de fundo e mais 5 cm para o sistema auxiliar para remoção de lodo da bandeja intermediária, esta lâmina gerou uma perda de 7.056 m<sup>3</sup> de água drenada durante 28 dias de operação. Caso esta operação durasse 29 dias esta perda seria de 7.308 m<sup>3</sup>. Novamente, soma-se a este valor o volume do decantador de 3.429 m<sup>3</sup> necessário para o esvaziamento do mesmo para lavagem.

Na Tabela 19 é apresentado um resumo do volume de lodo produzido durante esta fase e do percentual de perda de água tratada por mês, sendo que para efeito de comparação, o decantador 2 apresenta cálculos com 28 e 29 dias. Vale ressaltar, que no cálculo não foi levada em consideração a água utilizada para a lavagem das paredes, calhas e bandeja internas dos decantadores.

Tabela 19 – Volume de lodo produzido nos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha

Decantador	Nº de descargas de lodo (dias)	Volume de lodo produzido por decantador (m <sup>3</sup> /mês)	Volume de lodo produzido na unidade de decantação (m <sup>3</sup> /mês)	Perda de água tratada por mês (%)
1	29	6.496 + 3.429 = 9.925	9.925 x 6 = 59.550	59.550 / 10.368.000 x 100 = 0,57
2	28	7.056 + 3.429 = 10.485	10.485 x 6 = 62.910	62.910 / 10.368.000 x 100 = 0,61
2	29	7.308 + 3.429 = 10.737	10.737 x 6 = 64.422	64.422 / 10.368.000 x 100 = 0,62

É observado na Tabela 19 que o decantador 2, que possui o sistema auxiliar para remoção de lodo da bandeja intermediária, apresentou maior perda de água (0,62%) durante esta fase experimental, tendo um acréscimo de 812 m<sup>3</sup>/mês em relação ao decantador 1. Esse fato demonstra que a mudança na rotina de operação dos decantadores, de 12 em 12 dias para remoção diária de lodo, não reduziu o volume de lodo produzido.

Nesta fase foi, também, determinada a quantidade mensal de sólidos gerados pelo lodo proveniente da descarga dos decantadores 1 e 2, sendo estes valores apresentados na Tabela 20. Novamente, para efeito de comparação o decantador 2 apresenta cálculos com 28 e 29 dias.

Tabela 20 – Quantidade mensal de sólidos gerados pelo lodo

Decantador	Nº de descargas de lodo (dias)	Concentração média de SST (mg/L)	Vazão mensal de lodo produzido na unidade de decantação (m³/mês)	Quantidade de sólidos gerados pelo lodo (toneladas)
D1	29	214	59.550	13
D2	28	273	62.910	17
D2	29	273	64.422	18

Esses dados demonstram que apesar do volume de lodo produzido nesta fase não ter reduzido, a quantidade de sólidos gerados foi consideravelmente menor. Isto pode ser explicado pelo fato de haver descargas diárias de lodo nos decantadores, fato este que diminuiu a quantidade de sólidos dentro da unidade.

### 7.2.3 Etapa 3 - Determinação da concentração de sólidos descartado no lodo produzido nos decantadores da ETA Bolonha.

Nessa etapa foram realizadas determinações físicas (ST, SST e SSed), durante o período de 11/09/03 a 10/10/03, sendo coletadas amostras diárias do descarte de lodo dos decantadores 1 e 2, além do lodo descartado do sistema auxiliar de remoção de lodo da bandeja intermediária do decantador 2. Na Tabela 21 é mostrada a estatística básica para as variáveis propostas nas análises rotineiras nos decantadores selecionados nesta fase. As tabelas com todos os resultados obtidos para cada variável estão no apêndice D.

Tabela 21 - Estatística básica para os resultados da etapa 3

Variáveis	Nº de Amostras	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio Padrão	Coefficiente Variação
ST D1 (mg/L)	29	431	3.288	619	979	754,9	77,11%
ST D2 (mg/L)	28	446	2.974	543	930	763,4	82,12%
ST SA (mg/L)	28	340	2.534	1.217	1.223	438,4	35,85%
SST D1 (mg/L)	29	43	1.073	96,5	213,6	246,9	115,57%
SST D2 (mg/L)	28	74	1.027	134	272,5	286,9	105,28%
SST SA (mg/L)	28	63	1522	395	441	313,5	71,07%
SSed D1 (mL/L)	29	31	205	52	68,9	43,4	63,05%
SSed D2 (mL/L)	28	9	215	48	64,5	53,4	82,79%
SSed S.A (mL/L)	28	18	262	88	101	57	56,31%

### **Sólidos Totais**

Conforme pode ser observado na Tabela 21, a concentração média de ST encontradas no lodo dos decantadores 1 e 2 e no sistema auxiliar de remoção de lodo apresentou valores médios de 979 mgST/L, 930 mgST/L e 1.223 mgST/L, respectivamente. Estes valores estão condizentes com os obtidos por MACHADO (2003) e RICHTER (2001).

A variabilidade nos dois decantadores foi bastante alta. Este fato pode ser explicado pelo aumento excessivo de lodo a partir do 21º dia no decantador 1 e 18º dia no decantador 2. Observa-se que os decantadores 1 e 2 apresentaram,

praticamente, o mesmo percentual de coeficiente de variação. Isso demonstra que ambos comportaram-se de forma semelhante com a implementação da nova rotina operacional.

O sistema auxiliar de remoção de lodo apresentou baixa variabilidade, demonstrando grande homogeneidade entre os valores encontrados. No Gráfico 32 é mostrado a série temporal para a variação da concentração de ST durante as descargas de lodo nos decantadores 1 e 2 e sistema auxiliar.

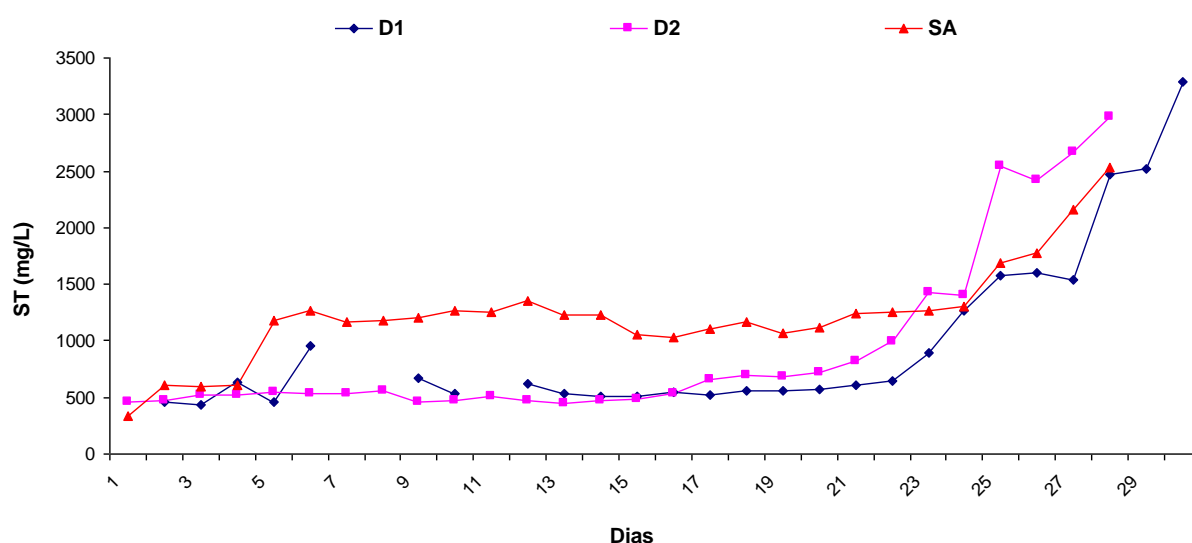


Gráfico 32 - Série temporal - variação da concentração de ST nos decantadores 1 e 2 e no sistema auxiliar de remoção de lodo na Fase 2

No Gráfico 32 pode se observar que os decantadores 1 e 2 e o sistema auxiliar apresentaram a mesma evolução da concentração de ST, verificando-se aumento na concentração ao longo dos dias. Os Gráficos 33 e 34 representam a variação de concentração de ST durante as descargas diárias de lodo dos decantadores 1 e 2 e do sistema auxiliar.

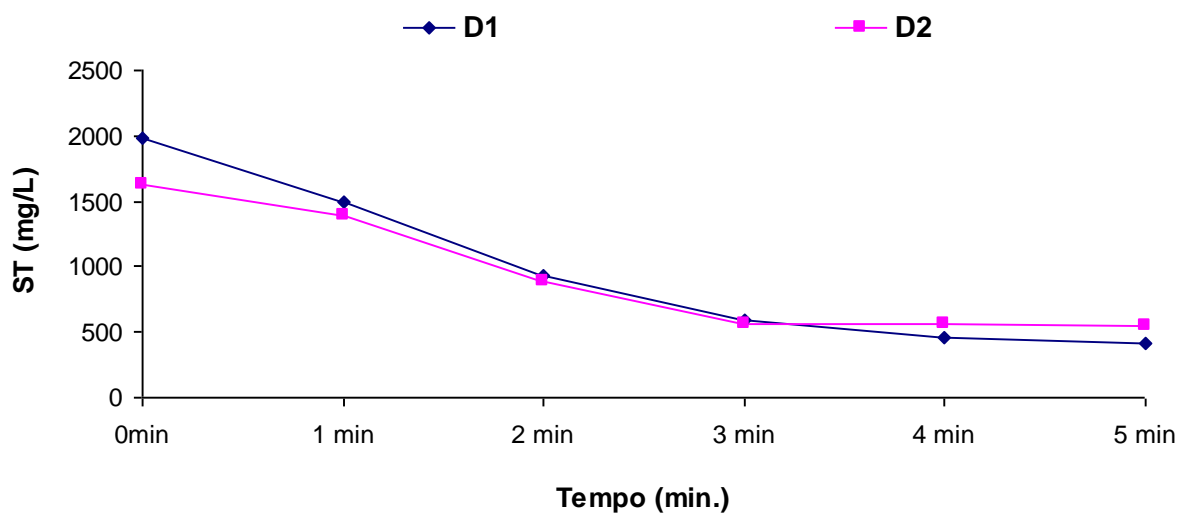


Gráfico 33: Concentração de ST nos decantadores 1 e 2 durante a descarga de lodo na Fase 2

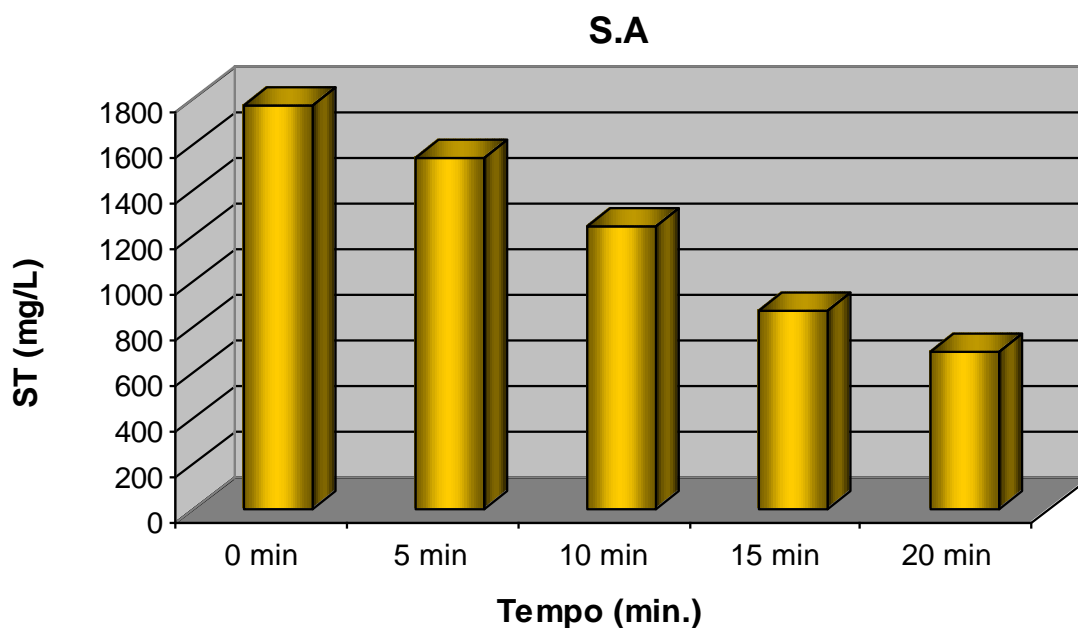
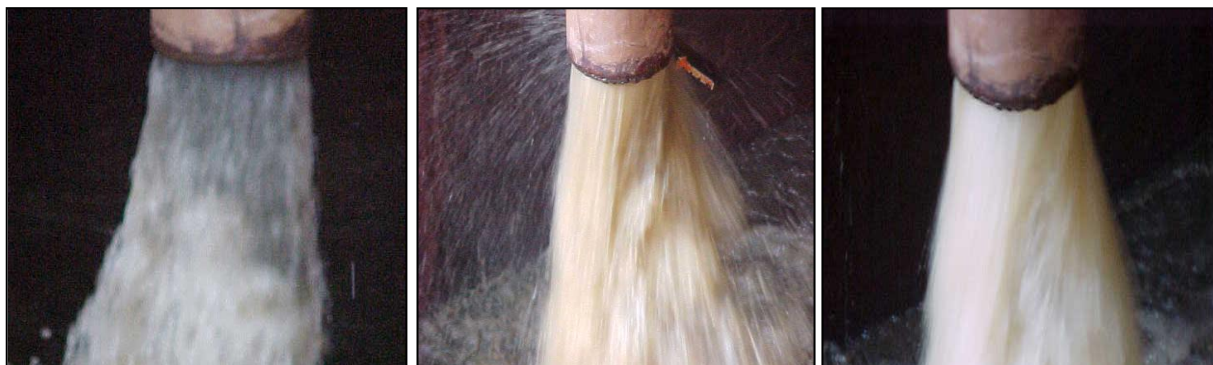


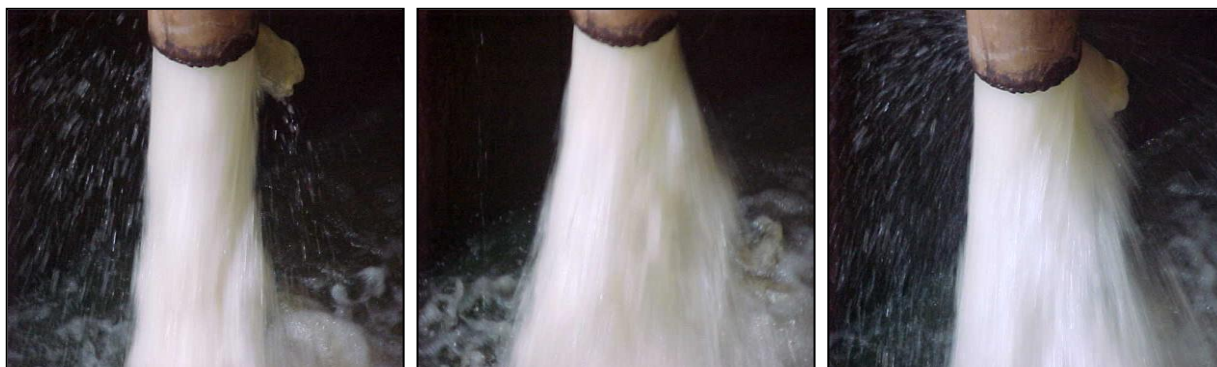
Gráfico 34: Concentração de ST no sistema auxiliar durante a descarga de lodo na Fase 2

É observado no Gráfico 32 que a concentração de ST é alta somente nos dois primeiros minutos, diminuindo ao longo do tempo de descarga do lodo, sendo o mesmo comportamento observado para o sistema auxiliar (Gráfico 33). Isso demonstra que, com a implementação da nova rotina de descargas diárias para os decantadores 1 e 2 a concentração de ST foi baixa.

Nas Fotografias 34, 35, 36, 37, 38 e 39 é mostrada a descarga de lodo na abertura da válvula de fundo do decantador, no 1º, 2º, 3º, 4º e 5º minuto. Verifica-se nas fotografias que a concentração de ST nos troncos de pirâmide apresentou-se baixa com a implementação da nova rotina operacional.



Fotografia 34, 35 e 36 - Descarga do lodo na abertura da válvula de fundo, no 1º e 2º minuto – Fase 2  
Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)



Fotografia 37, 38 e 39 - Descarga do lodo no 3º, 4º e 5º minuto – Fase 2  
Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)

Nas Fotografias 40, 41, 42, 43 e 44 é mostrada a descarga de lodo do sistema auxiliar na abertura da válvula, no 5º, 10º, 15º e 20º minuto. Observa-se nas fotografias que a concentração de ST no sistema auxiliar foi alta durante todo o tempo de descarga do lodo. Isto pode ser explicado pela grande quantidade de lodo que ficou sedimentando em cima da bandeja com a implementação dessa rotina operacional.





Fotografia 40, 41 e 42 - Descarga do lodo na abertura da válvula do sistema auxiliar, no 5º e 10º minuto – Fase 2

Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)



Fotografia 43 e 44 - Descarga do lodo do sistema auxiliar no 15º e 20º minuto – Fase 2

Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)

### **Sólidos Suspensos Totais**

Conforme pode ser observado na Tabela 21, o coeficiente de variação foi alto para os decantadores 1 e 2 e para o sistema auxiliar. Dessa forma, os valores de SST, para os decantadores 1 e 2, apresentaram comportamento semelhantes aqueles observados para os ST.

Os SST apresentaram concentrações médias por descarga de 214 mgSST/L no decantador 1 e 273 mgSST/L no decantador 2 e 441 mgSST/L no sistema auxiliar. Nos Gráficos 35, 36 e 37 é possível observar a relação de SST e ST durante o tempo de descarga do lodo, que foi em média de 17%, 25% e 32% para o decantador 1, decantador 2 e sistema auxiliar, respectivamente.

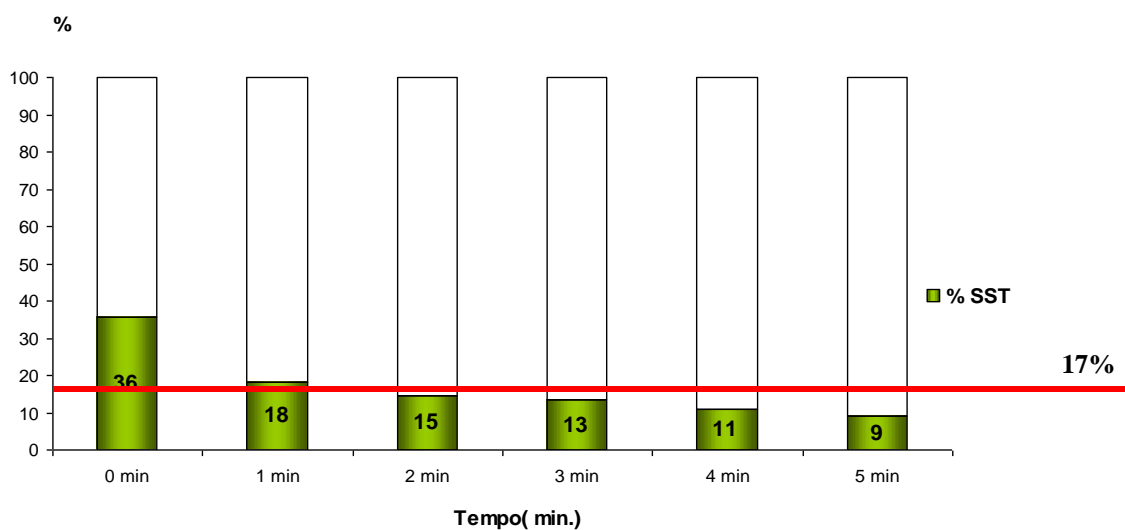


Gráfico 35: Relação SST e ST na descarga de lodo do decantador 1 – Fase 2

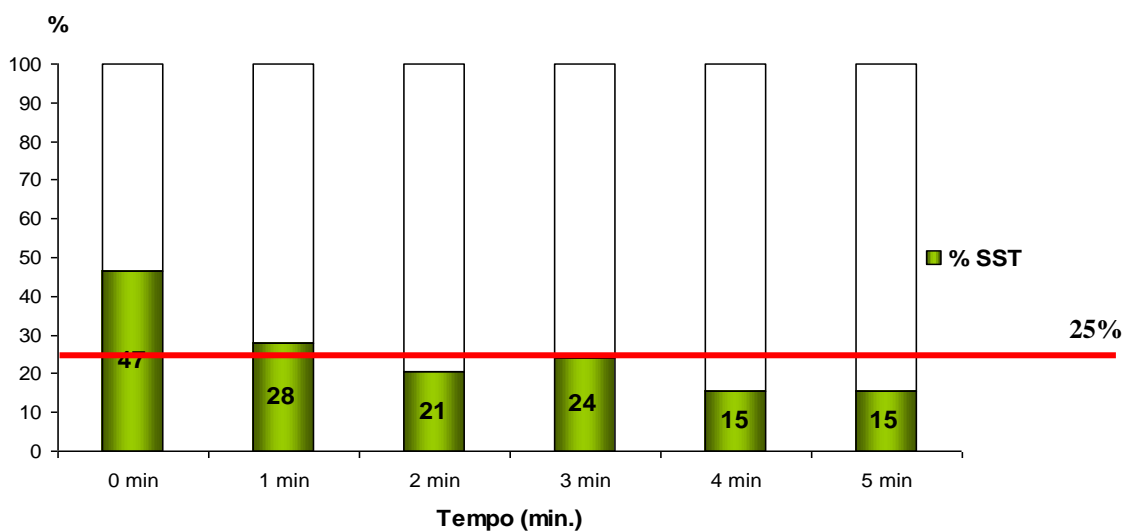


Gráfico 36: Relação SST e ST na descarga de lodo do decantador 2 – Fase 2

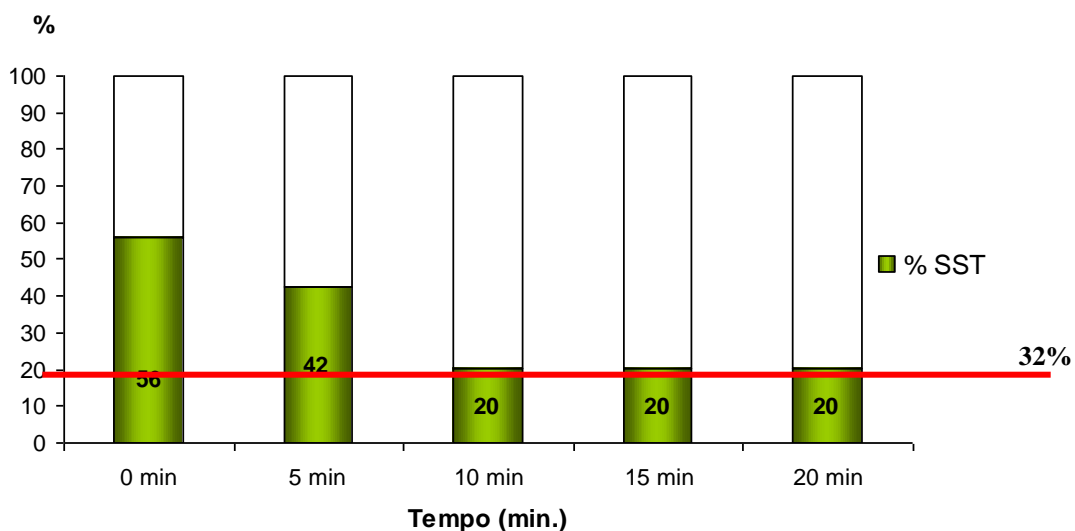
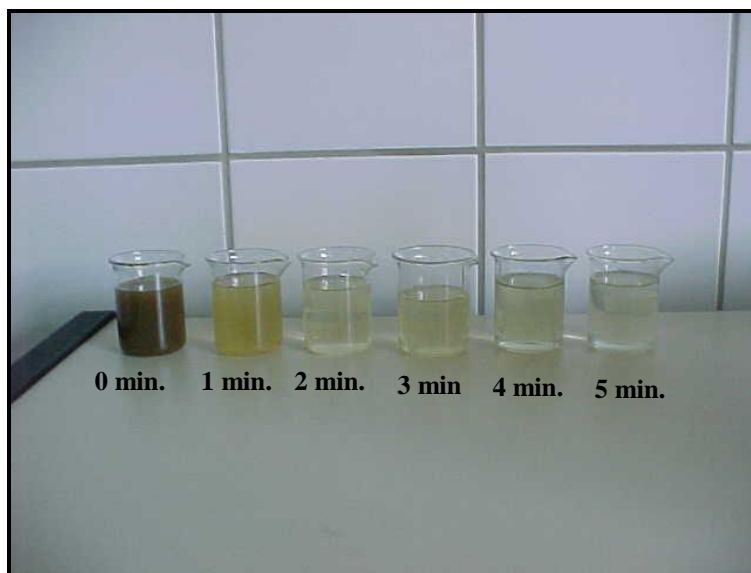


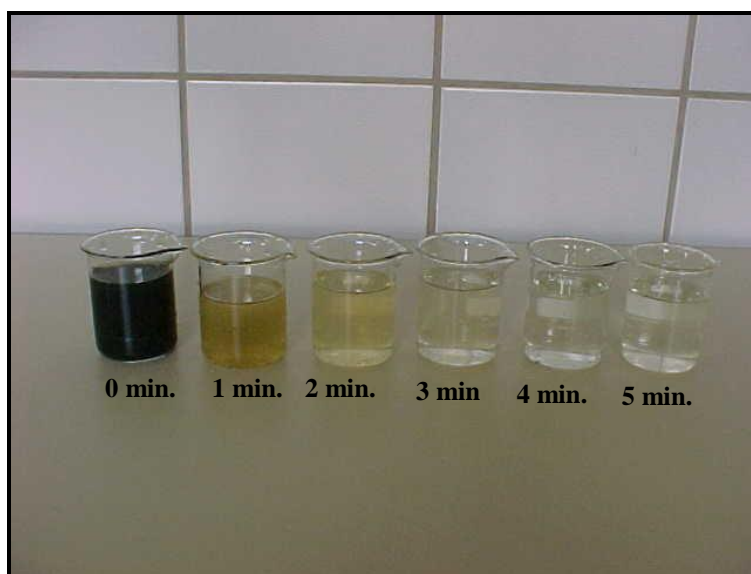
Gráfico 37: Relação SST e ST na descarga de lodo do sistema auxiliar – Fase 2

A concentração de SST nos decantadores 1 e 2 apresentou-se baixa com relação a fase de controle, pois, se verificou que, somente os dois primeiros minutos apresentavam elevada quantidade de sólidos. O sistema auxiliar apresentou concentração de SST alta nos cinco primeiros minutos e nos quinze minutos finais essa concentração continua relativamente elevada. Isto novamente pode ser

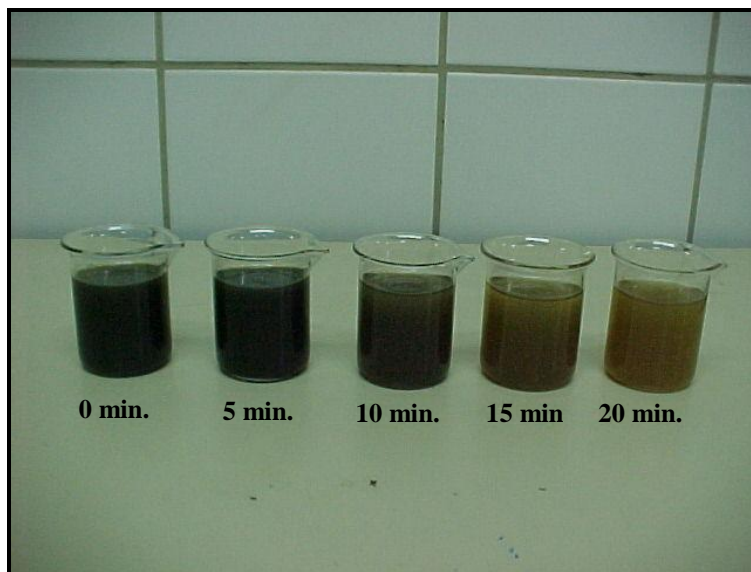
explicado pela grande quantidade de lodo que fica sedimentando em cima da bandeja. Nas Fotografias 45, 46 e 47 são apresentadas amostras do lodo descartado do decantador 1, decantador 2 e sistema auxiliar.



Fotografia 45 - Concentração de SST do lodo descartado do decantador 1 na Fase 2  
Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)



Fotografia 46 - Concentração de SST do lodo descartado do decantador 2 na Fase 2  
Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)



Fotografia 47 - Concentração de SST do lodo descartado do sistema auxiliar na Fase 2  
Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)

### ***Sólidos Sedimentáveis***

Na Tabela 21 é verificado que os valores médios de SSed foram baixos com 69 mLSSed/L para o decantador 1, 65 mLSSed/L para o decantador 2 e 101 mLSSed/L para o sistema auxiliar, isto pode ser explicado pelo fato dos flocos possuírem baixa sedimentabilidade, uma vez que a unidade de floculação não está operando, o que pode estar gerando um floco com baixo peso específico.

Esse fato indica a possibilidade de reutilização dessa massa líquida na estação, conforme verificado por MACHADO (2003). No Gráfico 38 é mostrado a série temporal para a variação da concentração de SSed durante as descargas de lodo dos decantadores 1 e 2 e sistema auxiliar.

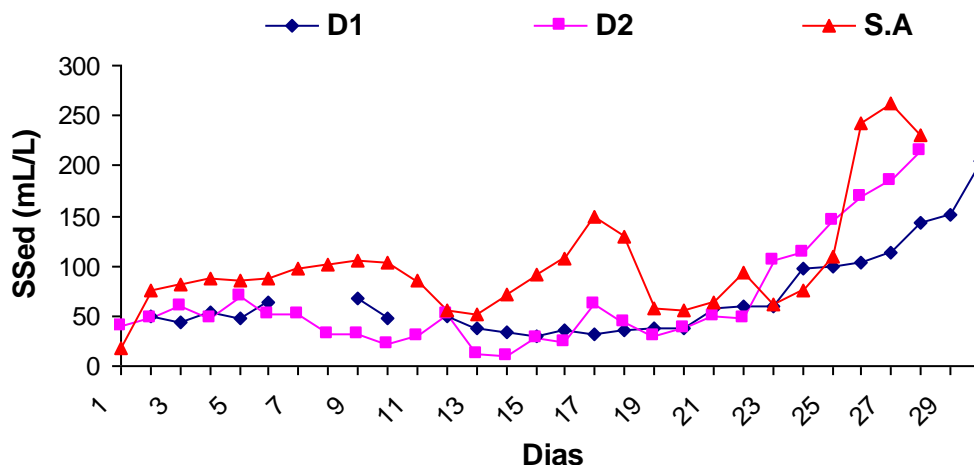


Gráfico 38: Série temporal - variação dos SSed ao longo do tempo nos decantador 1 e 2 e no sistema auxiliar de remoção de lodo na Fase 2

Como pode ser verificado no Gráfico 38, os decantadores 1 e 2 e o sistema auxiliar possuem praticamente a mesma evolução da concentração de SSed nas descargas diárias de lodo. Essa evolução foi semelhante a observada para os valores de ST dos decantadores 1 e 2 e para o sistema auxiliar. Os Gráficos 39 e 40 apresentam a variação da concentração de SSed durante as descargas de lodo dos decantadores 1 e 2 e do sistema auxiliar.

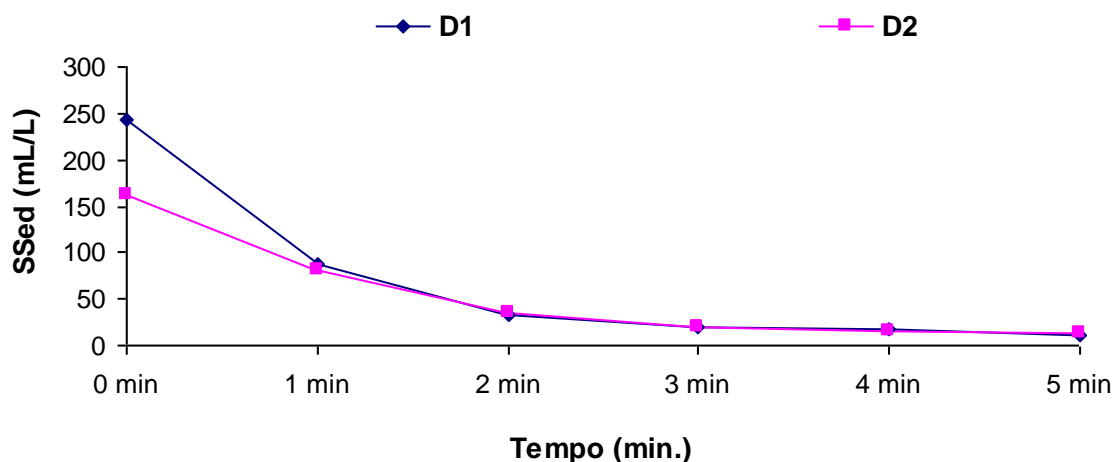


Gráfico 39: Concentração de SSed nos decantadores 1 e 2 durante a descarga de lodo - Fase 2

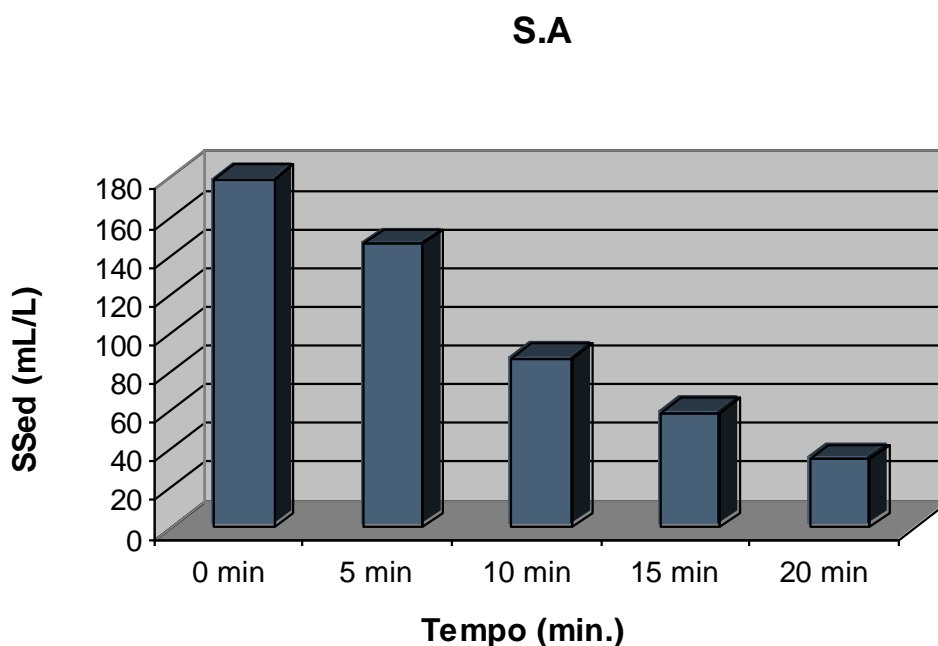


Gráfico 40: Concentração de SSed no sistema auxiliar durante descarga de lodo – Fase 2

No Gráfico 39 é verificado que a concentração de SSed apresentou comportamento semelhante àqueles observados para os valores de ST, com valores elevados somente nos dois primeiros minutos, sendo o mesmo comportamento observado para o sistema auxiliar (Gráfico 40).

### **7.3 FASE 3 – AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DOS DECANTADORES 1 E 2 DA ETA BOLONHA COM REMOÇÃO DE LODO A CADA 5 DIAS**

Nesta fase os decantadores 1 e 2 tiveram sua rotina de remoção de lodo alterada para remoção a cada 5 dias com descargas de 5 minutos, sendo avaliadas a eficiência dos decantadores 1 e 2, investigadas as características físicas dos resíduos produzidos nestes decantadores e quantificado o volume de água perdido nesta rotina experimental. Além disso, foi avaliado e quantificado o volume de lodo removido pelo sistema auxiliar para remoção do lodo acumulado na bandeja intermediária do decantador 2.

### 7.3.1 Etapa 1 - Avaliação da eficiência dos decantadores 1 e 2 com remoção de lodo a cada 5 dias

O monitoramento dessa etapa foi realizado através de análises físicas (turbidez, cor e SST), durante o período de 22 dias (24/10 a 14/11/03). Na Tabela 22 é mostrada a estatística básica para as variáveis propostas nas análises rotineiras dos decantadores selecionados. As tabelas com os resultados dessas variáveis estão no apêndice E.

Tabela 22 - Estatística básica para os resultados da etapa 3

Variáveis	Nº de Amostras	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio Padrão	Coefficiente Variação
Turbidez D1 (uT)	22	1.19	4	2.02	2.37	0.67	28.16%
Turbidez D2 (uT)	22	1.64	4.75	2.94	2.74	0.72	26.38%
Cor D1 (uC)	22	10	40	25.5	24.27	8.40	34.61%
Cor D2 (uC)	22	9	60	30.5	29.77	15.06	50.57%
SST D1 (mg/L)	22	1	12	4.5	5.36	3.05	56.83%
SST D2 (mg/L)	22	2	12	5	5.73	3.24	56.56%

#### **Turbidez**

Na Tabela 22 pode ser observado que, assim como na fase 2, os decantadores 1 e 2 apresentaram, praticamente, a mesma variabilidade, com coeficiente de variação de 28,16% para o decantador 1 e 26,38% para o decantador 2. Os decantadores 1 e 2 apresentaram valores médios de 2,37 uT e 2,74 uT e mediana de 2,02 uT e 2,94 uT, respectivamente. Esses resultados demonstram homogeneidade entre os valores encontrados nos dois decantadores. No Gráfico 41 é apresentado a série temporal dos valores de turbidez para cada decantador.



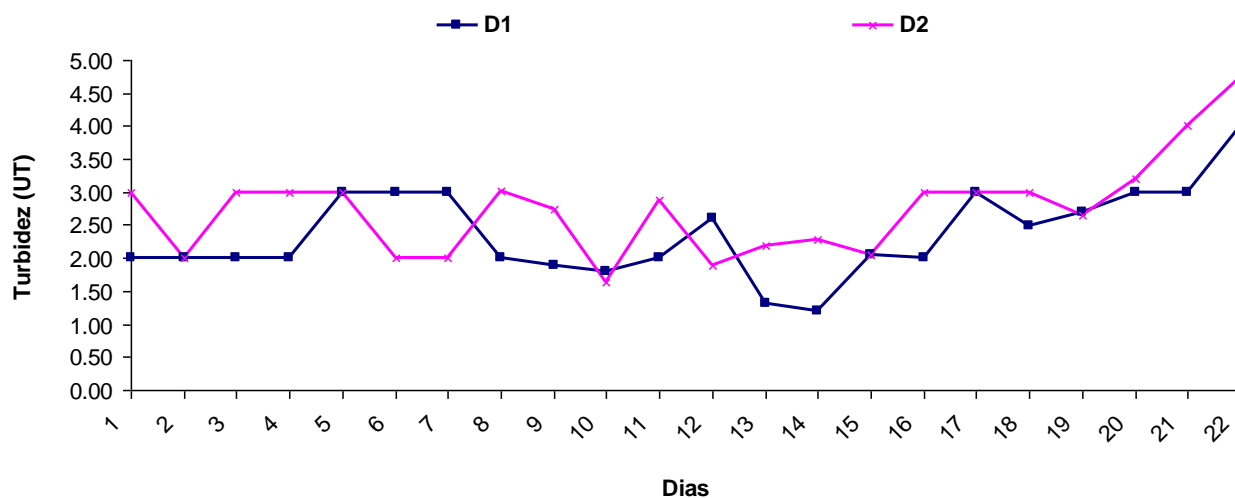
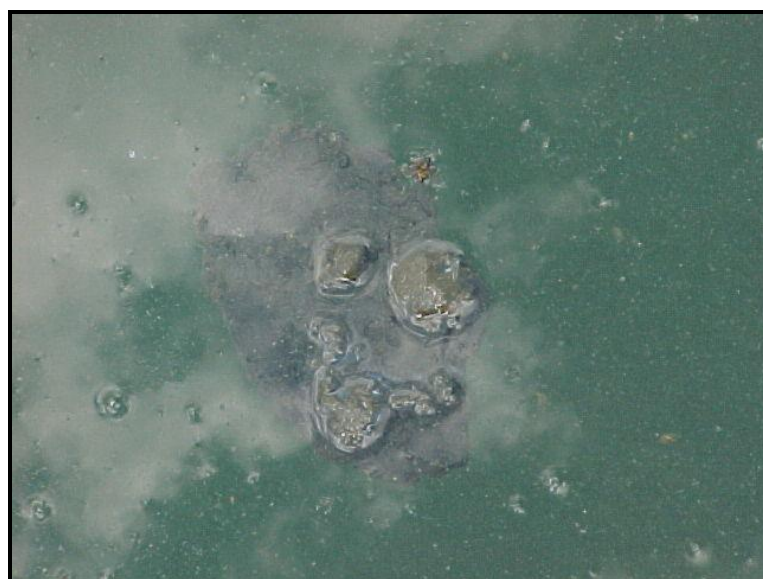


Gráfico 41: Série temporal – valores de turbidez dos decantadores 1 e 2 na Fase 3

Pode se observar no Gráfico 41, que a partir do 19º dia houve aumento dos valores de turbidez remanescente. No decantador 1 houve geração de gás com lodo começando a flotar no 19º dia de operação (Fotografia 48). No 22º dia o decantador encontrava-se com 1/3 da sua superfície coberta com placas de lodo que eram arrastados para as calhas coletoras, conforme pode ser observado na Fotografia 49.



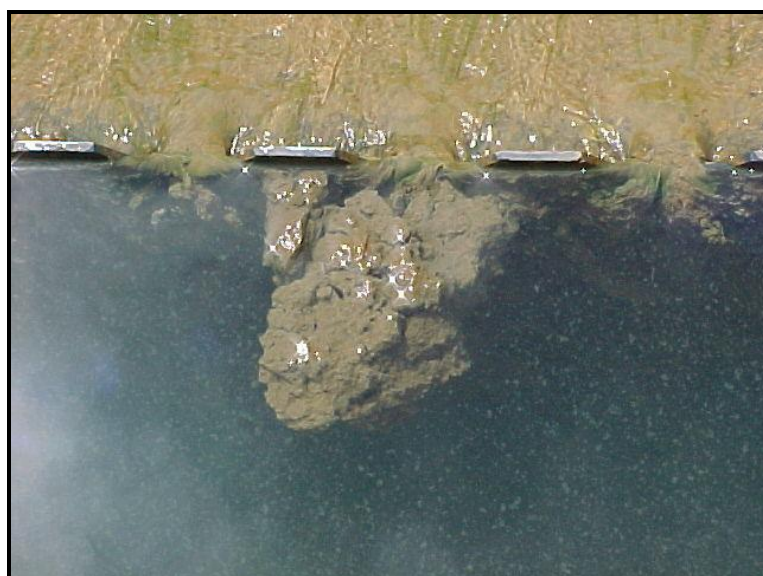
Fotografia 48 - Lodo flutando no decantador 1 (19º dia de operação) – Fase 3

Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)



Fotografia 49 - Lodo na calha coletora do decantador 1  
(22º dia de operação) – Fase 3  
Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)

No decantador 2 o lodo flutuou no 18º dia (Fotografia 50) e no 19º dia apresentou desprendimento de placas de lodo fermentado que eram arrastados para as calhas coletoras, conforme pode ser observado na Fotografia 51. No 22º dia este decantador se encontrava com a superfície parcialmente coberta de lodo (Fotografia 52) apresentado valor de turbidez de 5 uT.



Fotografia 50 - Lodo flutuando no decantador 1 (18 dias de operação) – Fase 3  
Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)



Fotografia 51 - Lodo sendo arrastado para a calha coletora do decantador 1  
(19 dias de operação) – Fase 3

Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)



Fotografia 52 - Decantador 1 com a superfície parcialmente coberta de lodo  
(22 dias de operação) – Fase 3

Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)

Assim, verificou-se que o sistema auxiliar para remoção de lodo do decantador 2 acelerou o processo de desprendimento do lodo depositado em cima da bandeja, facilitando sua ascensão. Na Tabela 23 são apresentados os resultados de eficiência média da turbidez remanescente, bem como suas estatísticas básicas para as amostras da etapa 1.

Tabela 23 - Estatística básica para os resultados de eficiência média de turbidez remanescente

<b>Variável</b>	<b>Nº de Amostras</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mediana</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Coefficiente Variação</b>
Eficiencia (%) D1	22	33,88	81,82	61,43%	61,89%	10,864	17,55%
Eficiencia (%) D2	22	28,46	76,92	62,79%	61,27%	11,0294	18%

Pode se verificar na Tabela 23, que os decantadores 1 e 2 apresentaram, praticamente, a mesma variabilidade, sendo, 17,55% para o decantador 1 e 18% para o decantador 2. Isso demonstra que os decantadores se comportaram de modo semelhante com a implementação da nova rotina operacional, apresentando a mesma eficiência média (61 %) de remoção de turbidez remanescente. A variação dos dados de eficiência é apresentada no Gráfico 42 na forma de Box e Whiskers. No Gráfico 43 é mostrado a série temporal para eficiência de remoção de turbidez remanescente nos decantadores 1 e 2.



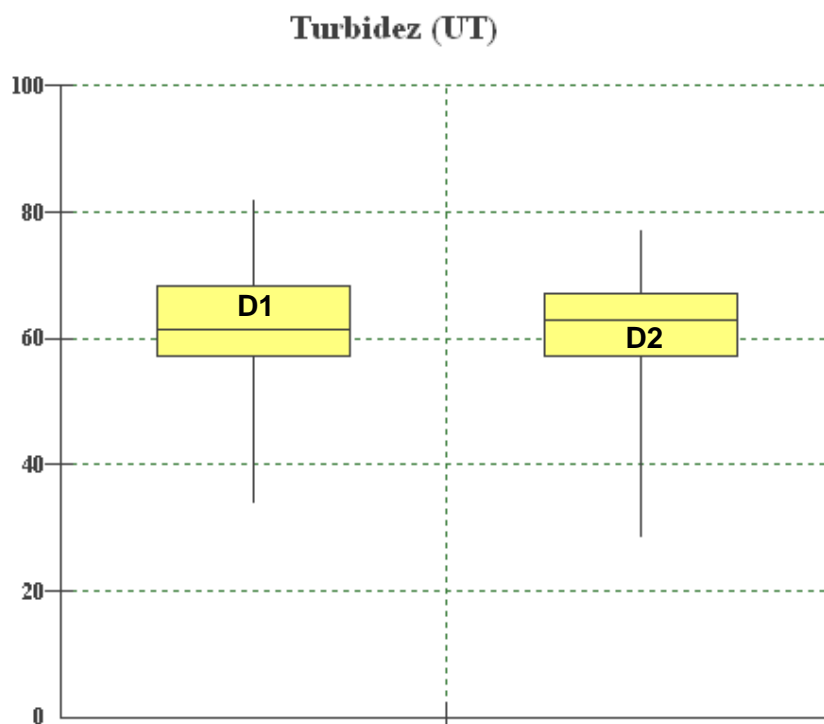


Gráfico 42: Box e Whiskers para turbidez remanescente – Fase 3

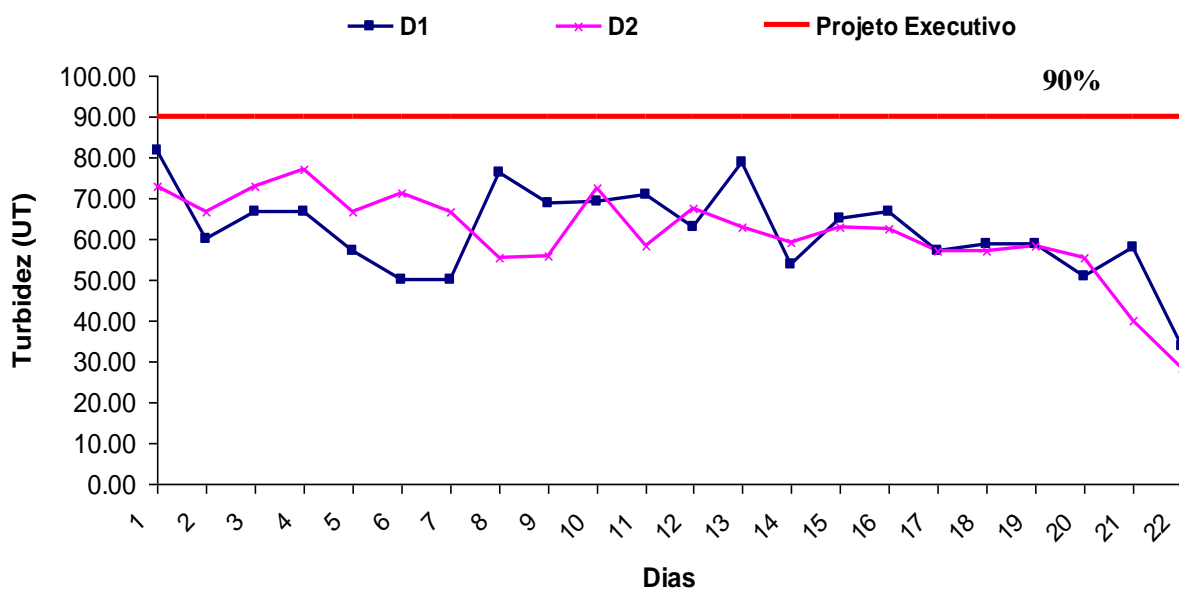


Gráfico 43: Série temporal - variação da eficiência de turbidez remanescente nos decantadores 1 e 2 na Fase 3

Analisando o Gráfico 42, pode-se constatar que cerca de 50% das amostras dos decantadores 1 e 2 estão com eficiência acima de 61 uT . No entanto, verifica-se no Gráfico 43, que mesmo com a implementação da nova rotina operacional, os valores de turbidez remanescente nos dois decantadores ficaram abaixo do recomendado pelo projeto executivo da ETA Bolonha, que é de 90% de remoção da turbidez da água floculada.

### Cor Aparente

Os valores de cor aparente remanescente no decantador 1, mostrados na Tabela 22 apresentaram valores entre 10 uC e 40 uC, com valores médios de 24 uC, desvio padrão de 8,40 e coeficiente de variação de 34,61%. O decantador 2 apresentou variação entre 9 a 60 uC, com valor médio de 30 uC, desvio padrão de 15,05 e coeficiente de variação de 50,57%. Dessa forma, é constatado que o decantador 2 apresentou uma variabilidade maior nos valores de cor aparente remanescente com a implementação da nova rotina operacional. A série temporal para este parâmetro é apresentada no Gráfico 44.

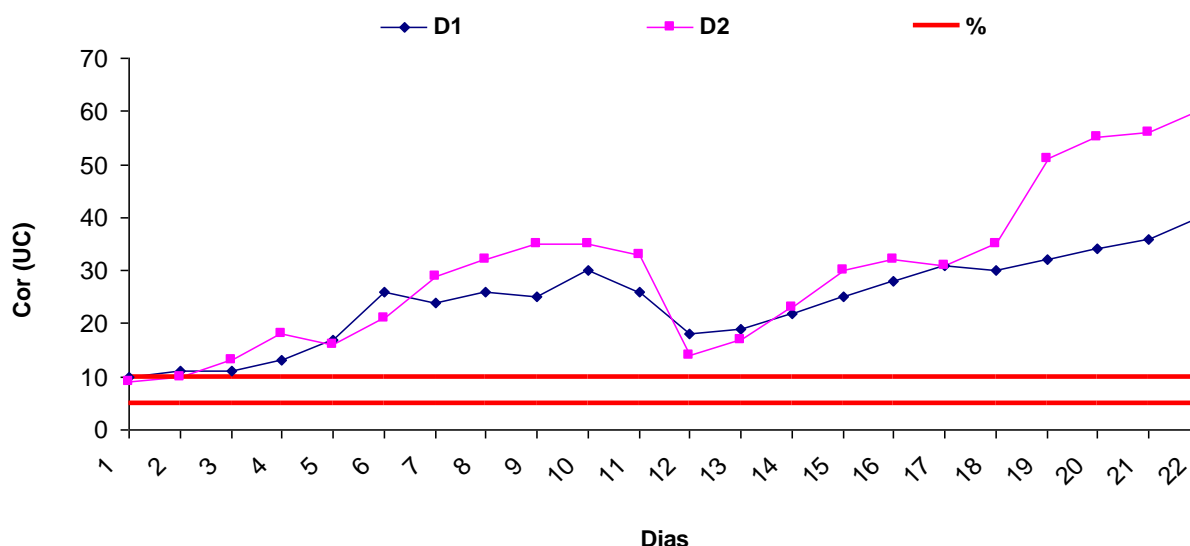


Gráfico 44: Série temporal – valores de cor aparente dos decantadores 1 e 2 na Fase 3

Conforme pode ser observado no Gráfico 44, novamente nesta fase não foi atendido a recomendação do projeto executivo que prevê valores entre 5 e 10 uC para o efluente proveniente da unidade de decantação, sendo o valor de 10 uC observado somente nos primeiros dias de operação dos decantadores 1 e 2. Na Tabela 24 são apresentados os resultados de eficiência média de cor aparente remanescente, bem como suas estatísticas básicas para as amostras dessa etapa.

Tabela 24 - Estatística básica para os resultados de eficiência média de cor aparente remanescente

Variável	Nº de Amostras	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio Padrão	Coefficiente Variação
Eficiencia (%) D1	22	33	86	64%	66%	12,10	18,22%
Eficiencia (%) D2	22	18	88	64%	61%	17,89	29,35%

O decantador 1 (18,22%) apresentou variabilidade menor em relação ao decantador 2 (29,35%), demonstrando uma maior eficiência de remoção de cor aparente remanescente, sendo, 66% para o decantador 1 e 61% para o decantador 2.

A variação dos dados de eficiência é apresentada no Gráfico 45 na forma de Box e Whiskers. No Gráfico 46 é mostrado a série temporal para eficiência de remoção de cor aparente remanescente nos decantadores 1 e 2.

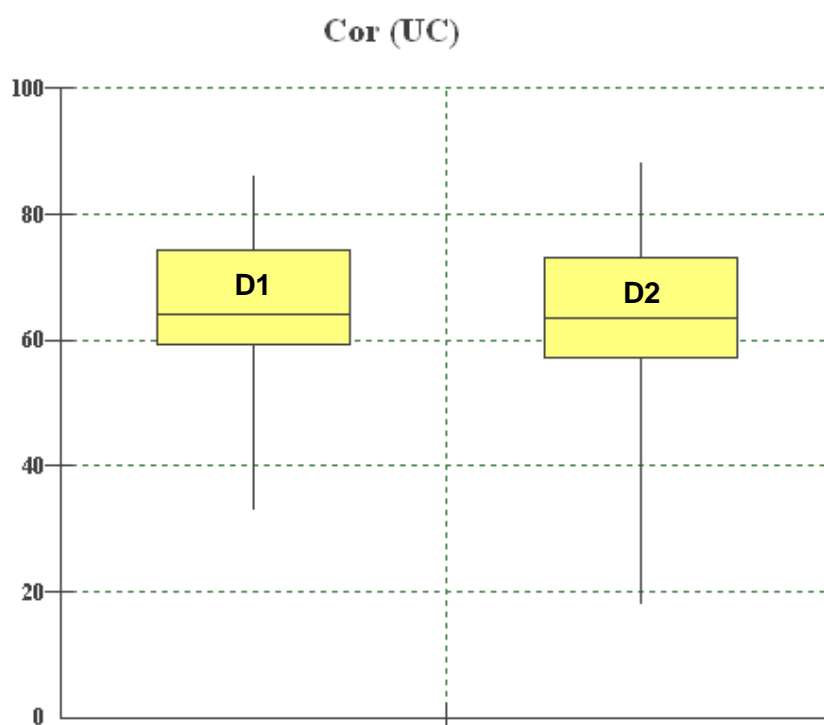


Gráfico 45: Box e Whiskers para cor aparente remanescente na Fase 3

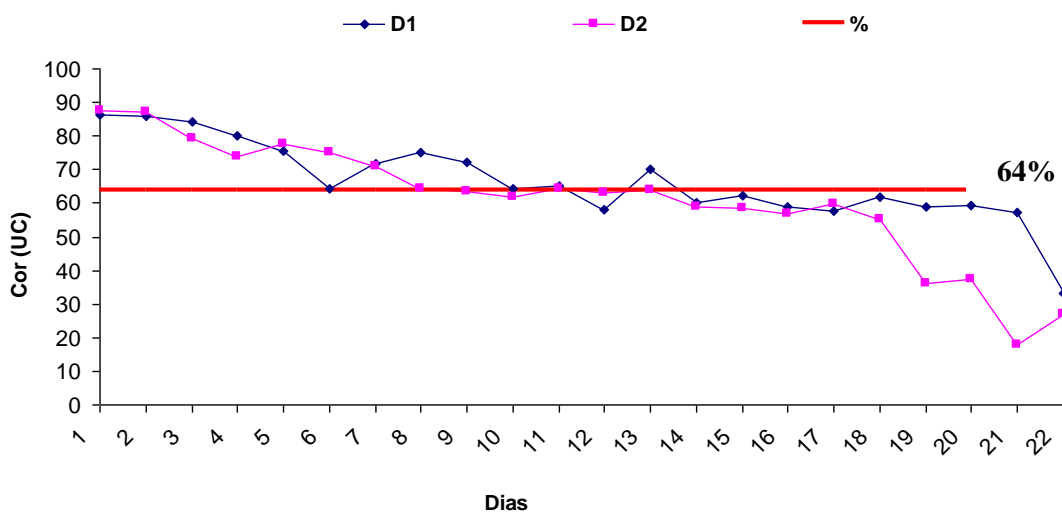


Gráfico 46: Série temporal - variação da eficiência de cor aparente remanescente nos decantadores 1 e 2 na Fase 3



Observa-se, no Gráfico 45, que com a implementação da nova rotina operacional os valores de eficiência de remoção de cor aparente remanescente variaram de forma bastante semelhante nos decantadores 1 e 2. Foram observados, no Gráfico 46, valores baixos de eficiência a partir do 14º dia de operação (06/11). Além disso, pode-se constatar que cerca de 50% das amostras dos decantadores 1 e 2 estão com eficiência acima de 64%.

### **Sólidos Suspensos Totais**

Como pode ser verificado na Tabela 22, os valores de SST do decantador 1 apresentou valores entre 1 mg/L a 10 mg/L, apresentando valores médios de 3,59 mgSST/L e coeficiente de variação de 77,66%, enquanto o decantador 2 apresentou valores entre 1 mg/L a 10 mg/L, apresentando média de 3,86 e coeficiente de variação de 79,99%.

Dessa forma, foi possível observar que os dois decantadores apresentaram praticamente a mesma variabilidade, demonstrando homogeneidade entre os valores encontrados na nova rotina operacional de descargas de lodo a cada 5 dias. O Gráfico 47 apresenta a série temporal dos valores de SST para cada decantador.

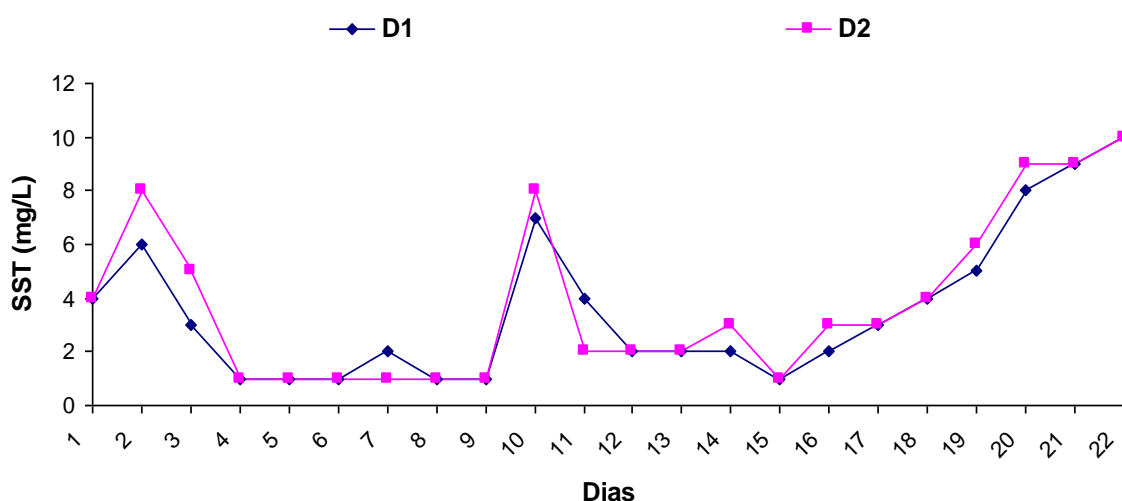


Gráfico 47: Série temporal – valores de SST dos decantadores 1 e 2 na Fase 3

Como pode ser verificado no Gráfico 47, no 10º dia houve um aumento expressivo nos valores SST. Isto se deve a um aumento no valor de SST da água floculada, que foi provocado por intensa chuva no dia. Além disso, observa-se no gráfico que os dois decantadores apresentaram a mesma evolução da concentração de SST no efluente, apresentando valores mais elevados no final do experimento, quando a concentração de sólidos foi maior devido ao tempo de operação do decantador. Na Tabela 25 são apresentados os resultados de eficiência média de SST, bem como suas estatísticas básicas para as amostras dessa etapa.

Tabela 25 - Estatística básica para os resultados de eficiência de SST

Variável	Nº de Amostras	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio Padrão	Coefficiente Variação
Eficiência (%) D1	22	- 25	88	63,5%	59,14%	25,53	43,18%
Eficiência (%) D2	22	9	91	59,5%	59,64%	23,65	39,65%

Na Tabela 25 é observado que os dois decantadores apresentaram, praticamente, a mesma variabilidade nos resultados, apresentando a mesma eficiência (59%) para remoção de SST com a implementação da nova rotina operacional.

A variação dos dados de eficiência é apresentada no Gráfico 48 na forma de Box e Whiskers. No Gráfico 49 é mostrado a série temporal para eficiência de remoção de SST nos decantadores 1 e 2.

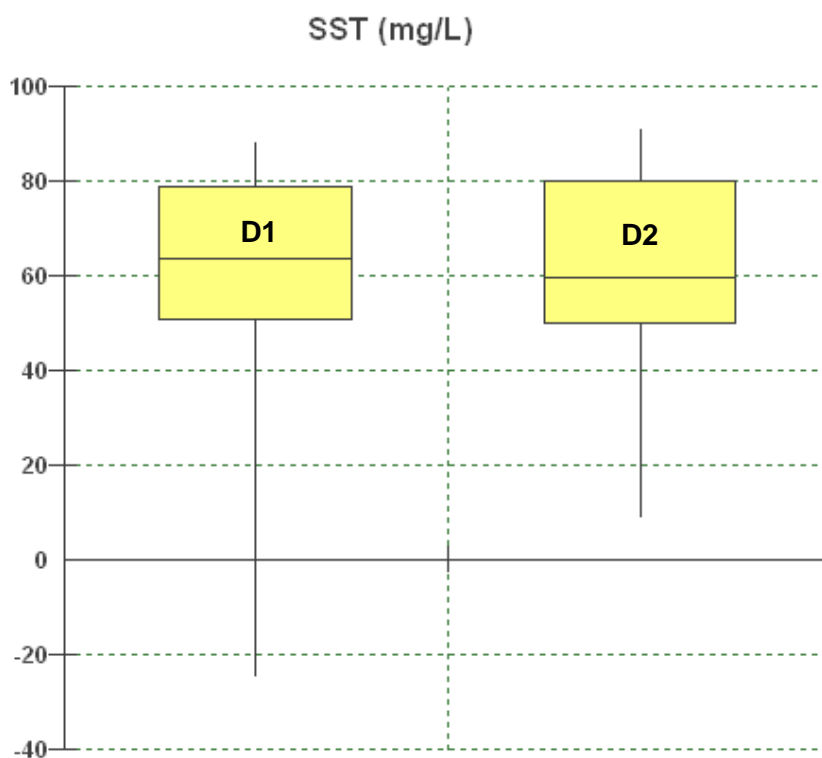


Gráfico 48: Box e Whiskers para SST – Fase 3

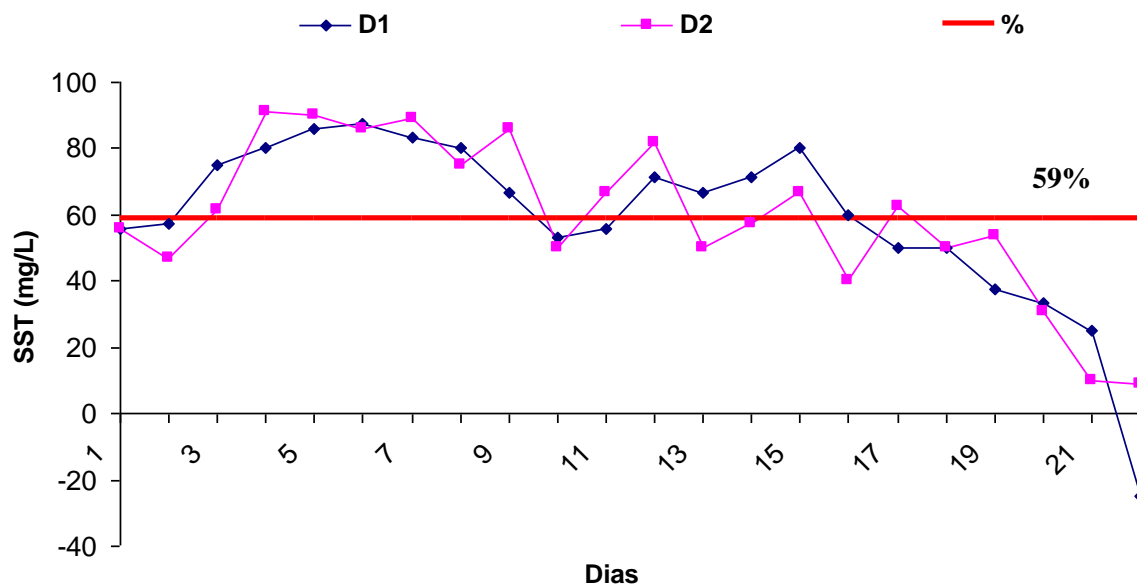


Gráfico 49: Série temporal - variação da eficiência de SST nos decantadores 1 e 2 – Fase 3

Verifica-se, nos Gráficos 48 e 49, que apesar do decantador 1 apresentar uma maior variabilidade nos resultados (43,18%), o valor da mediana foi praticamente o mesmo para os dois decantadores. Isto significa que 50% das amostras nos dois decantadores estão com concentração de SST abaixo de 59 %, apresentando baixas eficiências nos dois últimos dias de operação. Este fato ocorreu devido ao acúmulo de sólidos em cima da bandeja ser maior ao longo dos dias.

Na Tabela 26 são apresentados resumos dos valores médios de cor aparente, turbidez e SST encontrados na água floculada e na água decantada dos decantadores 1 e 2. Na Tabela 27 é apresentada a faixa de valores de eficiência média de remoção dessas variáveis e o coeficiente de variação. Vale ressaltar, que as entradas de água floculada nos decantadores são diferentes, apresentando, portanto valores díspares.

Tabela 26 - Resultados dos valores médios das variáveis analisadas nos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha

Variável	D1		D2	
	AFL	AD	AFL	AD
Turbidez (uT)	6	2	7	3
Cor Aparente (uC)	74	24	76	30
SST (mg/L)	8	4	9	4

Tabela 27 - Eficiência dos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha

Variáveis	D1			D2		
	*FV (%)	**M	***CV (%)	FV (%)	M	CV (%)
Turbidez (uT)	34 a 82	62	17.55	28 a 77	61	18
Cor Aparente (uC)	33 a 86	66	18.22	18 a 88	61	29.35
SST (mg/L)	- 25 a 88	59	43.18	9 a 91	60	39.65

\*FV: faixa de variação

\*\*M: média

\*\*\*CV: coeficiente de variação

Conforme pode ser observado na Tabela 26, as amostras do efluente dos decantadores 1 e 2 apresentaram valores médios de 24 uC com eficiência de 66% e 30 uC com eficiência de 61%, respectivamente. Isto significa que mesmo alterando a rotina operacional de descarga dos decantadores de remoção diária de lodo para remoção a cada 5 dias, os valores de cor aparente remanescente do efluente continuaram bem acima do recomendado no projeto executivo que é de 5 a 10 uC.

A eficiência de remoção de turbidez remanescente (Tabela 27) nos decantadores 1 e 2 foi da ordem de 62% e 61%, respectivamente. Verifica-se, novamente, que mesmo com a alteração da rotina operacional para remoção de lodo a cada 5 dias, os valores ficaram abaixo do recomendado pelo projeto executivo, que é de 90% de remoção da turbidez da água floculada.

Com relação a determinação de SST, foram encontrados nos decantadores 1 e 2, valores médios de 4 mg/L com eficiência médias de remoção de 59% e 60% para os decantadores 1 e 2, respectivamente. Isto significa que não houve alteração na eficiência de SST para o decantador 1, porém, o decantador 2 apresentou melhora significativa com a implementação da nova rotina operacional.

### *7.3.2 Etapa 2 - Quantificação do lodo produzido nos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha*

Essa etapa teve a duração de 22 dias (24/10/03 a 14/11/03), no qual o lodo dos decantadores 1 e 2 eram drenados a cada 5 dias, durante 5 minutos. Além disso, havia também, nos mesmos dias, a drenagem do sistema auxiliar para remoção de lodo da bandeja intermediária do decantador 2, durante 20 minutos, com coletas em intervalos de 5 minutos.

Com o fechamento das comportas, de entrada e saída, o decantador 1 apresentou durante as descargas de fundo uma lâmina média de água perdida de 40 cm, o que gerou um volume médio de 224 m<sup>3</sup> de água perdida. Como foram realizadas quatro descargas durante os 16 dias de operação o volume total foi de 896 m<sup>3</sup>. Soma-se a este valor o volume total do decantador que é de 3.429 m<sup>3</sup>, que será esvaziado para a lavagem do mesmo, totalizando 4.325 m<sup>3</sup>/mês de água perdida nesta fase.

O decantador 2 apresentou a mesma lâmina, 40 cm, para a descarga de fundo e mais 5 cm para o sistema auxiliar para remoção de lodo da bandeja intermediária, esta lâmina gerou uma perda de 252 m<sup>3</sup> de água perdida durante o mesmo período, sendo o volume total das quatro descargas de 1.008 m<sup>3</sup>. Novamente, soma-se a este valor o volume do decantador de 3.429 m<sup>3</sup> necessário para o esvaziamento do mesmo para lavagem, isso perfaz um total de 4.437 m<sup>3</sup>/mês de água perdida nesta fase com o decantador 2. Na Tabela 28 é apresentado um resumo do volume de água perdido durante esta fase.

Tabela 28 - Volume de lodo produzido nos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha

Decantador	Nº de descargas de lodo	Volume de água perdido (m <sup>3</sup> )	Volume de água perdido na unidade de decantação (m <sup>3</sup> /mês)	Perda de água tratada por mês (%)
1	4	896 + 3.429 = 4.325	4.325 x 6 = 25.950	25.950 / 10.368.000 x 100 = 0,25
2	4	1.008 + 3.429 = 4.437	4.437 x 6 = 26.622	26.622 / 10.368.000 x 100 = 0,25

Conforme é mostrado na Tabela 28, os decantadores 1 e 2 apresentaram o mesmo percentual de perda de água (0,25%) durante esta fase experimental. Esse fato demonstra que a mudança na rotina de operação dos decantadores, de remoção diária de lodo para remoção a cada 5 dias, reduziu o volume de água perdida durante a operação de descarga. Com o emprego desta rotina operacional, o percentual dos resíduos gerados nos decantadores da ETA Bolonha (0,25%) está de acordo aos valores citados na literatura técnica.

Nesta etapa foi, também, determinada a quantidade mensal de sólidos gerados pelo lodo proveniente da descarga dos decantadores 1 e 2, sendo estes valores apresentados na Tabela 29.

Tabela 29 – Quantidade mensal de sólidos gerados pelo lodo

Decantador	Nº de descargas de lodo (dias)	Concentração média de SST (mg/L)	Vazão mensal de lodo produzido na unidade de decantação (m³/mês)	Quantidade de sólidos gerados pelo lodo (toneladas)
D1	4	709	25.950	18
D2	4	574	26.622	15

Esses dados revelam que a quantidade de sólidos foi praticamente a mesma da fase 2, porém, a rotina operacional implantada nesta fase apresentou uma menor perda de água. Isto pode ser explicado devido ao fato do lodo ser descartado de 5 em 5 dias, tempo este que não deixava haver um acúmulo excessivo de lodo. Além disso, como a descarga deixou de ser diária para ser de 5 dias, o volume de água perdido diminuiu consideravelmente.

### *7.3.3 Etapa 3 - Determinação da concentração de sólidos descartado no lodo produzido nos decantadores da ETA Bolonha.*

Nessa etapa foram realizadas determinações físicas (ST, SST e SSed), durante o período de 22 dias (24/10 a 14/11/03), sendo coletadas amostras de lodo a cada 5 dias com duração de 5 minutos dos decantadores 1 e 2. Além disso, no mesmo período foram coletadas amostras do lodo descartado do sistema auxiliar de remoção de lodo da bandeja intermediária do decantador 2 dias a cada 5 dias com duração de 20 minutos.

Na Tabela 30 é mostrada a estatística básica para as variáveis propostas nas análises rotineiras nos decantadores selecionados nesta fase. As tabelas com todos os resultados obtidos para cada variável estão no apêndice F.



Tabela 30 - Estatística básica para os resultados da etapa 3

Variáveis	Nº de Amostras	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio Padrão	Coefficiente Variação
ST D1 (mg/L)	4	596	3.273	1.408,5	671,5	1.136,34	50,43%
ST D2 (mg/L)	4	660	2.123	796,5	1.094	691,48	41,91%
ST SA (mg/L)	4	809	4.344	2.309,5	2.443	1.478,8	65,53%
SST D1 (mg/L)	4	238	1.096	751,5	709,25	357,68	41,53%
SST D2 (mg/L)	4	232	777	644	574,25	240,70	15,88%
SST SA (mg/L)	4	171	2011	1.291,5	1.191,2	775,8	65,12%
SSed D1 (mL/L)	4	101	335	306	262	108,80	41,53%
SSed D2 (mL/L)	4	93	138	116,5	116	18	15,88%
SSed S.A (mL/L)	4	114	722	441	429,5	255,2	59,43%

### **Sólidos Totais**

Conforme é mostrado na Tabela 30, a concentração média de ST encontradas no lodo foi de 672 mgST/L no decantador 1, 1.094 mgST/L no decantador 2 e 2.443 mgST/L no sistema auxiliar de remoção de lodo. Assim com na fase 2, esses valores estão condizentes com os obtidos por MACHADO (2003).

A variabilidade no sistema auxiliar foi maior que nos decantadores 1 e 2, podendo ser explicado em função do aumento excessivo de lodo em cima da bandeja com a implementação da nova rotina operacional. No Gráfico 50 é mostrado a série temporal para a variação da concentração de ST durante as descargas de lodo nos decantadores 1 e 2 e no sistema auxiliar.

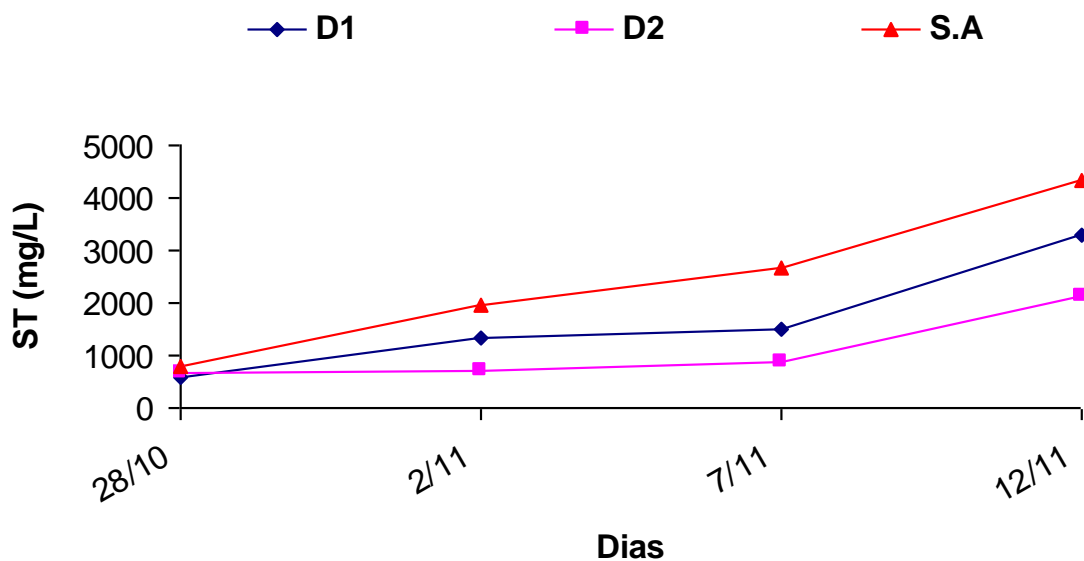


Gráfico 50: Série temporal - variação da concentração de ST nos decantadores 1 e 2 e no sistema auxiliar de remoção de lodo – Fase 3

Pode se verificar no Gráfico 50, que a evolução da concentração de ST no efluente dos decantadores 1 e 2 e no sistema auxiliar se mostraram similares ao longo dos dias. Além disso, observa-se uma variação de ST maior durante todo o período experimental no sistema auxiliar. Os Gráficos 51 e 52 apresentam a variação de concentração de ST durante as descargas de lodo dos decantadores 1 e 2 e do sistema auxiliar.

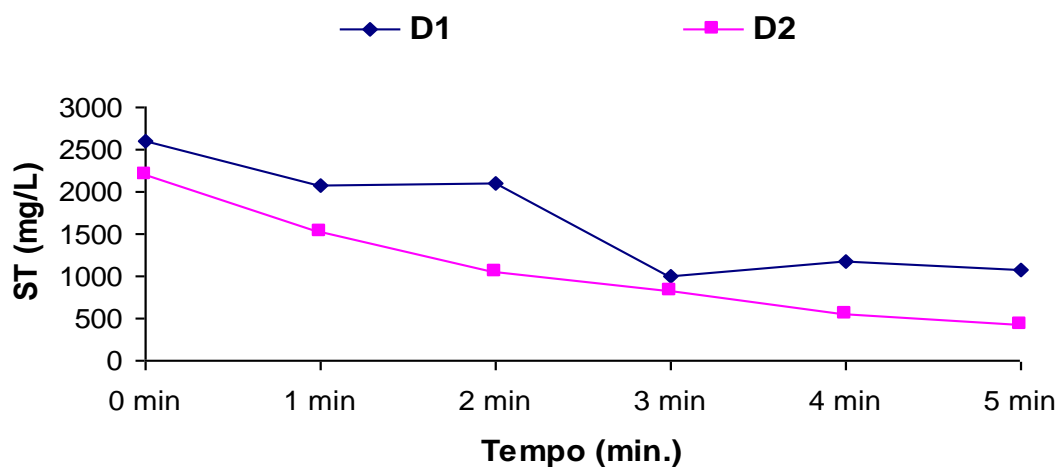


Gráfico 51: Concentração de ST nos decantadores 1 e 2 durante a descarga de lodo – Fase 3

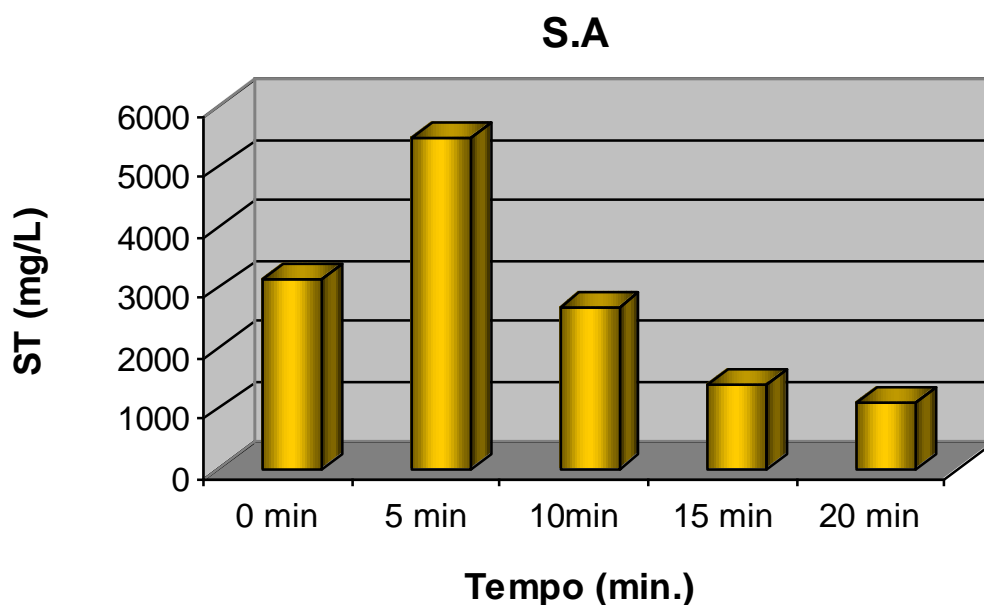


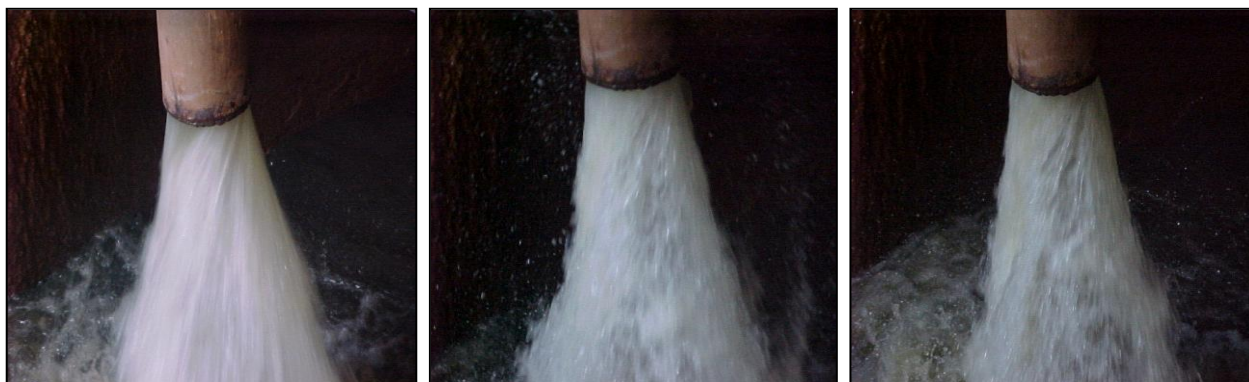
Gráfico 52: Concentração de ST no sistema auxiliar durante a descarga de lodo – Fase 3

Pela evolução da concentração de ST dos decantadores 1 e 2 mostrada no Gráfico 51 é possível verificar que valores da concentração diminuem ao longo da descarga do lodo, sendo, observado o mesmo comportamento para o sistema auxiliar (Gráfico 52).

Essa evolução é representada de Fotografias 53 a 58, que mostram a descarga de lodo do decantador 2 na abertura da válvula de fundo no 1º, 2º, 3º, 4º e 5º minuto, enquanto nas Fotografias 59 a 63 é mostrada a descarga de lodo do sistema auxiliar na abertura da válvula no 5º, 10º, 15º e 20º minuto. É observado nas fotografias que a concentração de ST no sistema auxiliar é elevada durante todo o tempo de descarga do lodo, o que pode ser explicado, novamente, pelo acúmulo excessivo de lodo que ficou sedimentando em cima da bandeja com a implementação da nova rotina operacional.



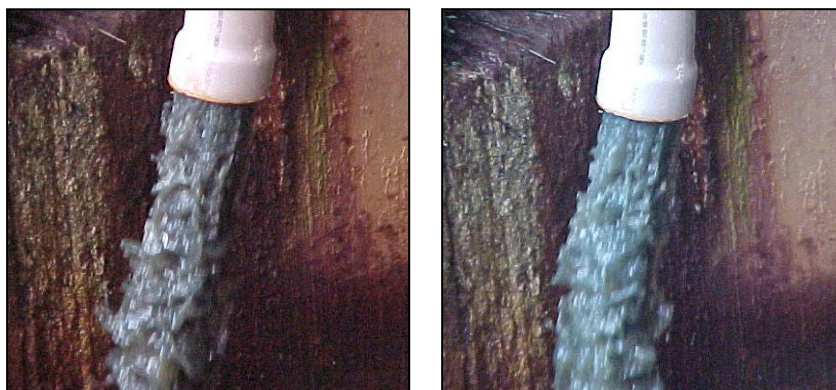
Fotografia 53, 54 e 55 - Descarga do lodo na abertura da válvula de fundo, no 1º e 2º minuto – Fase 3  
Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)



Fotografia 56, 57 e 58 - Descarga do lodo no 3º, 4º e 5º minuto – Fase 3  
Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)



Fotografia 59, 60 e 61 - Descarga do lodo na abertura da válvula do sistema auxiliar, no 5º e 10º minuto – Fase 3  
Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)



Fotografia 62 e 63 - Descarga do lodo do sistema auxiliar no 15º e 20º minuto – Fase 3

Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)

### **Sólidos Suspensos Totais**

Na Tabela 30 é observado que os SST apresentaram concentrações médias por descarga de 709 mgSST/L no decantador 1 e 574 mgSST/L no decantador 2 e 1.191,2 mgSST/L no sistema auxiliar. Nos Gráficos 53, 54 e 55 é possível observar a relação de SST e ST durante o tempo de descarga do lodo, que foi em média de 44%, 46% e 51% para o decantador 1, decantador 2 e sistema auxiliar, respectivamente.

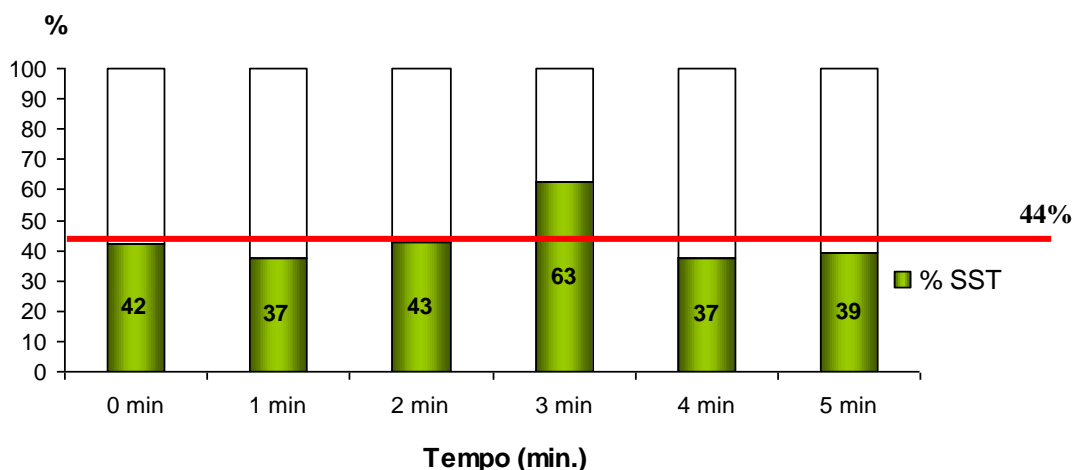


Gráfico 53: Relação SST e ST na descarga de lodo do decantador 1 – Fase 3

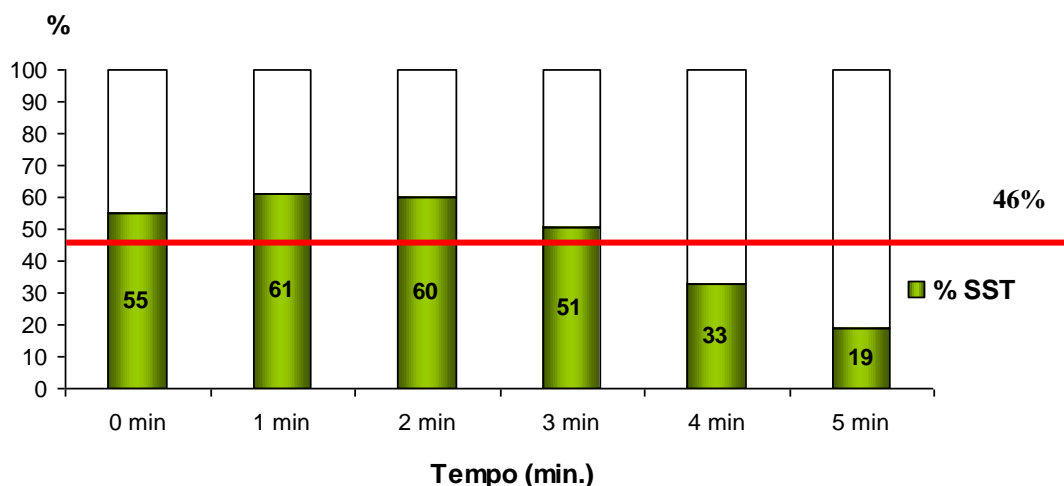


Gráfico 54: Relação SST e ST na descarga de lodo do decantador 2 – Fase 3

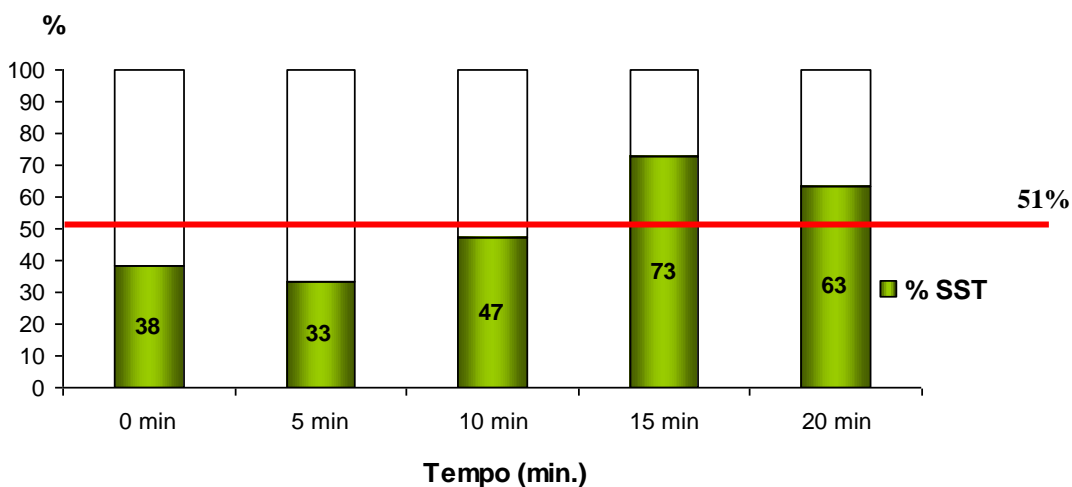


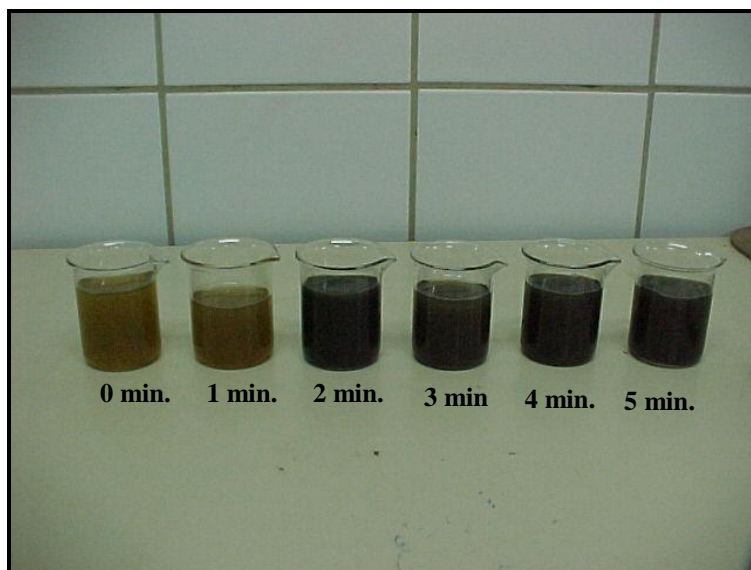
Gráfico 55: Relação SST e ST na descarga de lodo do sistema auxiliar – Fase 3

Conforme mostrado no Gráfico 53, o decantador 1 apresentou concentração elevada de SST durante todo o tempo da descarga de lodo, apresentando os maiores valores no 4º minuto. No Gráfico 54 é observado que o decantador 2 apresentou concentração elevada de SST nos três primeiros minutos, diminuindo essa concentração durante a descarga de lodo.



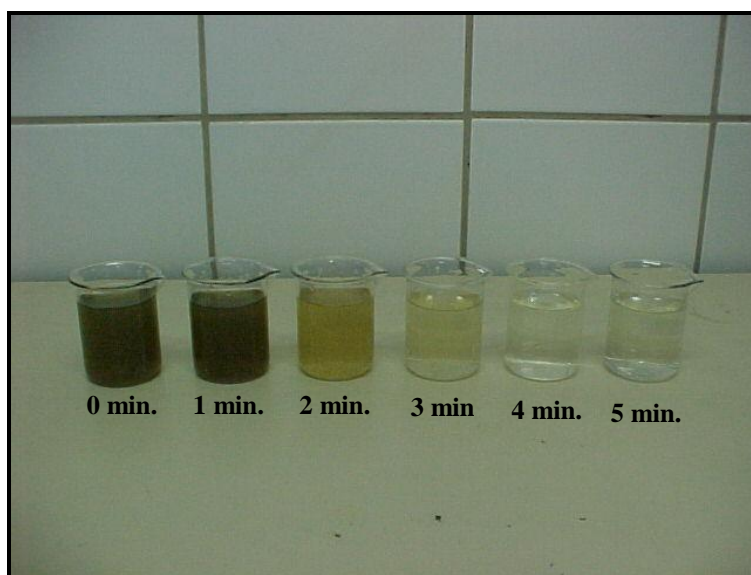
De acordo com Gráfico 55 o sistema auxiliar apresentou concentração de SST elevada durante todo o tempo da descarga de lodo, tendo um aumento significativo nos dez minutos finais da descarga. Isto pode ser explicado pelo fato da nova rotina operacional drenar o lodo somente de 5 em 5 dias, o que faz com que haja um aumento significativo do volume de lodo sedimentado em cima da bandeja.

As Fotografias 64, 65 e 66 ilustram a variação ocorrida com o lodo descartado nos decantadores 1 e 2 e no sistema auxiliar com a rotina implementada nesta fase.



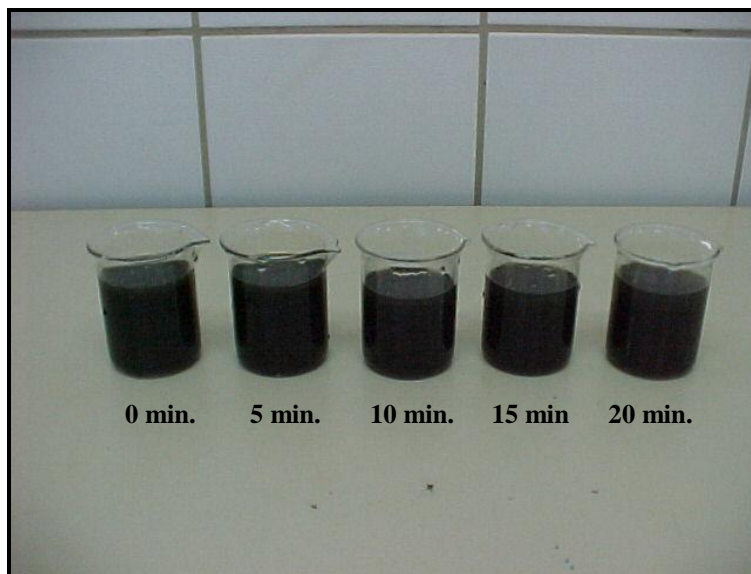
Fotografia 64 - Concentração de SST no lodo descartado do decantador 1 – Fase 3

Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)



Fotografia 65 - Concentração de SST no lodo descartado do decantador 2 – Fase 3

Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)



Fotografia 66 - Concentração de SST no lodo descartado do sistema auxiliar – Fase 3  
Fonte: Visita Técnica – ETA Bolonha (2003)

### ***Sólidos Sedimentáveis***

Na Tabela 30 é verificado que os valores médios de SSed foram de 262 mLSSed/L para o decantador 1 e 116 mLSSed/L para o decantador 2. O sistema auxiliar apresentou valores médios de SSed elevados com 429,5 mLSSed/L, podendo este fato ser explicado pela implementação da nova rotina operacional, que faz com que haja um acúmulo excessivo de lodo sedimentado em cima da bandeja devido a descarga de lodo só acontecer somente de 5 em 5 dias.

Apesar dos valores de SSed se apresentarem elevados nesta etapa, após tratamento há a possibilidade de reutilização dessa massa líquida na estação. No Gráfico 56 é mostrado a série temporal para a variação de concentração de SSed durante as descargas de lodo dos decantadores 1 e 2 e sistema auxiliar.



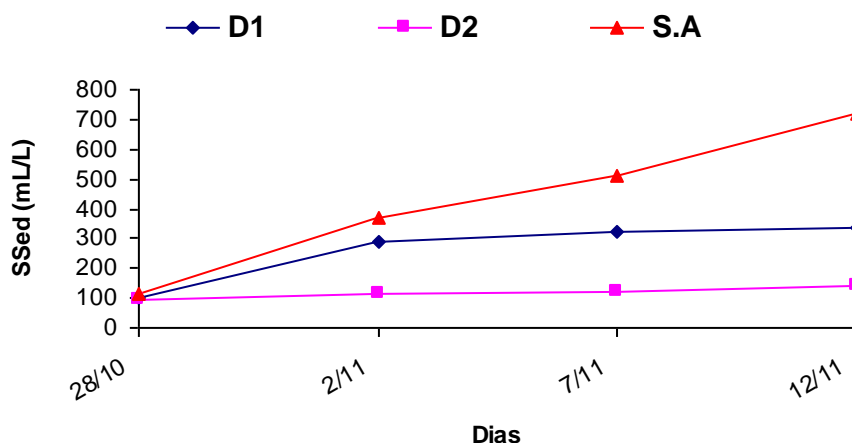


Gráfico 56: Série temporal - variação dos SSed nos decantadores 1 e 2 e no sistema auxiliar de remoção de lodo – Fase 3

Como pode ser verificado no Gráfico 56, o sistema auxiliar apresentou um aumento maior nos valores de SSed ao longo do experimento, apresentaram comportamento semelhante aqueles observados para os valores de sólidos totais.

Além disso, observa-se que o decantador 2 quase não apresentou variação nos valores de SSed. Isto pode ser explicado pelo fato de haver remoção de lodo no sistema auxiliar.

Os Gráficos 57 e 58 apresentam a variação de concentração de SSed durante as descargas de lodo dos decantadores 1 e 2 e sistema auxiliar.

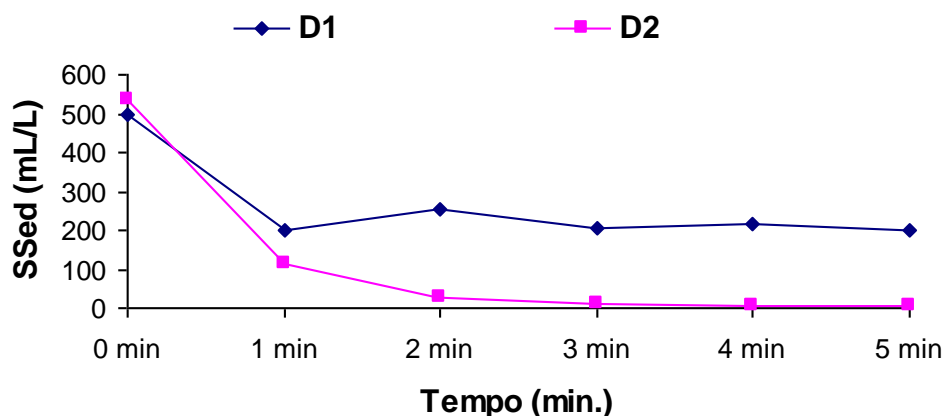


Gráfico 57: Concentração de SSed nos decantadores 1 e 2 durante a descarga de lodo – Fase 3

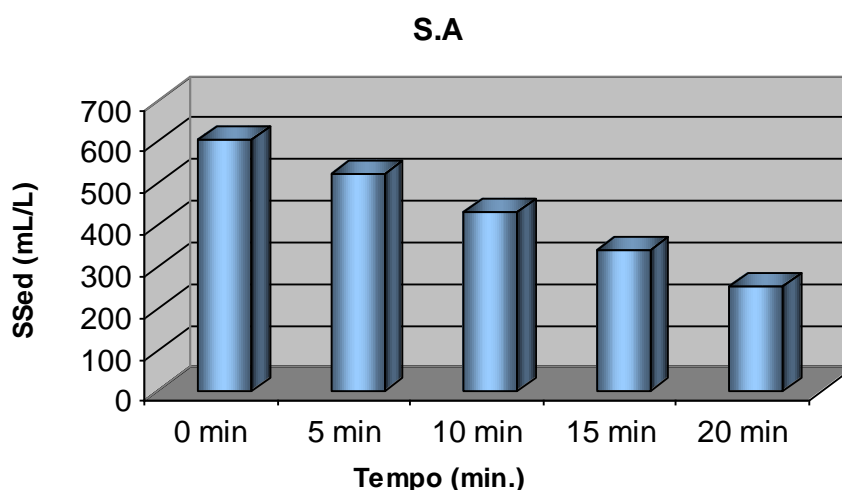


Gráfico 58: Concentração de SSed no sistema auxiliar durante a descarga de lodo – Fase 3

No Gráfico 57 é verificado que o decantador 1 apresentou concentração elevada de SSed durante todo o tempo da descarga de lodo, apresentando os maiores valores durante a abertura da válvula. O decantador 2 apresentou concentração elevada de SSed somente no primeiro minuto, apresentando valores menores durante todo o restante da descarga de lodo.

No Gráfico 58 pode se observar que no sistema auxiliar a concentração de SSed apresentou valores elevados, sendo que estes foram diminuindo durante o tempo de descarga do lodo.

## 8 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

### 8.1 RESULTADOS DE EFICIÊNCIA DOS DECANTADORES 1 E 2 DA ETA BOLONHA

Na Tabela 31 é apresentada comparação entre os valores médios de cor aparente, turbidez e SST do efluente dos decantadores 1 e 2 observados nas fases 1, 2 e 3 do experimento. A faixa de valores de eficiência média de remoção dessas variáveis são mostrados na Tabela 32.

Tabela 31 - Valores médios das variáveis analisadas nos efluentes dos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha observados nas fases 1, 2 e 3.

Variáveis	D1						D2					
	Fase 1		Fase 2		Fase 3		Fase 1		Fase 2		Fase 3	
	AF	EF	AF	EF	AF	EF	AF	EF	AF	EF	AF	EF
Turbidez (uT)	11	4	7	2	6	2	11	5	8	3	7	3
Cor Aparente (uC)	80	32	56	19	74	24	85	45	59	23	76	30
SST (mg/L)	9	3	5	2	8	4	9	4	5	3	9	4

Tabela 32 - Eficiências médias dos decantadores 1 e 2 da ETA Bolonha observadas nas fases 1, 2 e 3.

Variáveis	D1			D2		
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3
Turbidez (uT)	56	65	62	51	52	61
Cor Aparente (uC)	61	65	66	47	62	61
SST (mg/L)	61	62	59	46	50	60

## ***Turbidez***

### ***Decantador 1***

É verificado na Tabela 31 que o decantador 1 apresentou melhores resultados de turbidez remanescente na fase 2. Porém, esses valores se mantiveram inalterados com a implementação da fase 3.

Na Tabela 32 pode se observar que os valores de eficiência média foram muito melhores após a implementação da fase 2, mantendo-se, novamente, inalterados com a implementação da fase 3.

Isto indica que a mudança da rotina da fase 2 (remoção de lodo diária) para a fase 3 (remoção a cada 5 dias), não implicou em melhorias significativas quanto a eficiência dessa unidade.

### ***Decantador 2***

Conforme pode ser observado na Tabela 31, o decantador 2 apresentou melhores resultados com a implementação de nova rotina operacional na fase 2, sendo este resultado mantido após a implementação da fase 3.

Na Tabela 32 é observado que o decantador 2 apresentou a mesma eficiência nas fases 1 e 2, apresentando eficiência superior na fase 3.

Isto indica que, em termos de valores médios as fases 2 e 3 apresentaram resultados iguais, porém, para valores de eficiência média, a fase 3 apresentou melhores resultados.

## **Cor**

### ***Decantador 1***

Na Tabela 31 é verificado que o decantador 1 apresentou melhores resultados de cor remanescente na fase 2. Na fase 3 esses valores sofreram um sensível aumento.

Na Tabela 32 pode se observar que os valores de eficiência média foram praticamente os mesmos após a implementação da fase 2, mantendo-se inalterados com a implementação da fase 3.

Isto indica que a mudança implementada na fase 2 implicou em melhorias significativas quanto a eficiência dessa unidade. Porém, na fase 3 os resultados não se apresentaram melhores.

### ***Decantador 2***

Conforme pode ser observado na Tabela 31, o decantador 2 apresentou melhores resultados com a implementação de nova rotina operacional na fase 2, sendo que este resultado sofreu aumento com a implementação da fase 3.

Na Tabela 32 pode ser verificado que o decantador apresentou uma eficiência maior com a implementação da fase 2, apresentado a mesma eficiência com a implementação da fase 3.

Isto indica que, em termos de valores médios a rotina operacional implementada na fase 2 apresentou resultados melhores, porém, para valores de eficiência média as duas fases (2 e 3) apresentaram valores semelhantes.

## ***Sólidos Suspensos Totais***

### ***Decantador 1***

Na Tabela 31 pode se observar que os melhores resultados de remoção de SST ocorreram na fase 2, sendo que na fase 3 esses valores sofreram aumento.

Em termos de eficiência as três fases apresentaram valores semelhantes (Tabela 32).

Dessa forma, verifica-se que o decantador 1 apresentou melhores resultados de remoção de SST e eficiência média na fase 2.

### ***Decantador 2***

Na Tabela 31 é verificado que a mudança da rotina de remoção de lodo não implicou em melhorias significativas para a remoção de SST nas três fases.

Na Tabela 32 é observado que houve uma melhoria significativa de eficiência com a implementação da fase 3.

Isto indica que, em termos de valores médios as três fases apresentaram resultados parecidos, porém, para valores de eficiência média a fase 3 demonstrou ser bem melhor.

## 8.2 RESULTADOS DE QUANTIFICAÇÃO DO LODO PRODUZIDO NOS DECANTADORES 1 E 2 DA ETA BOLONHA

Na Tabela 33 verifica-se a comparação entre os valores de volume de água perdido nas fases 1, 2 e 3 do experimento.

Tabela 33 - Comparação do volume de água perdido na fase 1 e 2

	FASE 1	FASE 2		FASE 3	
	D (30 dias)	D1 (29 dias)	D2 (29 dias)	D1 (22 dias)	D2 (22 dias)
Perda de água tratada por mês em relação a vazão da ETA Bolonha (%)	0,53	0,57	0,62	0,25	0,25
Perda de água (m <sup>3</sup> )	9.144	6.496 + 3.429 = 9.925	7.308 + 3.429 = 10.737	896 + 3.429 = 4.325	1.008 + 3.429 = 4.437
Unidade de decantação (6 decantadores)	54.864	59.550	64.422	25.950	26.622
Acréscimo (%)	-	8	17	-	-
Decréscimo (%)	-	-	-	47	48
Quantidade mensal de sólidos gerados pelo lodo (toneladas)	95	13	18	18	15

Na Tabela 33 é verificado que na fase 2 houve um maior volume de perda de água durante a operação de descarga do lodo, apresentando um percentual médio de perda de água (0,60%). Porém, nesta fase a geração de sólidos foi consideravelmente menor que na fase 1.

Na fase 3 os decantadores 1 e 2 apresentaram um percentual de perda de água de 0,25%, demonstrando que a mudança na rotina de operação dos decantadores, de remoção diária de lodo para remoção a cada 5 dias, reduziu o volume de água perdida durante a operação de descarga. Com o emprego desta rotina operacional, o percentual dos resíduos gerados nos decantadores da ETA Bolonha (0,25%) está de acordo aos valores citados na literatura técnica.

Sob o ponto de vista de geração de resíduos (perda de água) a rotina operacional implementada na fase 2 (remoção de lodo diária, com descargas de 5 minutos) não é adequada, pois, conforme é observado na Tabela 33, houve um acréscimo de 8% e 17% nas descargas dos decantadores 1 e 2, respectivamente.

Na Tabela 33 é observado que com a implementação da fase 3 (descargas de lodo a cada 5 dias) obteve-se um decréscimo médio de consumo de água de 47%. Com relação a quantidade de sólidos gerados no lodo dos decantadores, tanto a fase 2 como a fase 3 apresentaram resultados semelhantes. Dessa forma, sob o ponto de vista de geração de resíduos (perda de água) a rotina implementada na fase 3 é a mais adequada.

### **8.3 RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DO LODO PRODUZIDO NOS DECANTADORES 1 E 2 DA ETA BOLONHA**

Na Tabela 34 verifica-se a comparação entre os valores médios de ST, SST e SSed do lodo descartado dos decantadores 1 e 2 e do sistema auxiliar de remoção de lodo da bandeja intermediária do decantador 2.



Tabela 34 - Comparação entre os valores médios das variáveis analisadas no lodo descartado durante as três fases

Variáveis	Fase 1	D1		D2		SA	
		Fase 2	Fase 3	Fase 2	Fase 3	Fase 2	Fase 3
ST (mg/L)	3.154	979	1.672	930	1.094	1.223	2.443
SST (mg/L)	1.725	214	709	273	574	441	1.191
SSed (mL/L)	307	69	262	65	116	101	430

### **Sólidos Totais**

Com a implementação da fase 2 a concentração média de ST encontradas no lodo foi de 979 mgST/L no decantador 1, 930 mgST/L no decantador 2 e 1.223 mgST/L no sistema auxiliar de remoção de lodo da bandeja intermediária. Na fase 3 a concentração média de ST encontradas no lodo foi de 672 mgST/L no decantador 1, 1.094 mgST/L no decantador 2 e 2.443 mgST/L no sistema auxiliar de remoção de lodo. Assim, esses valores estão condizentes com os obtidos por MACHADO (2003).

Os decantadores 1 e 2 e o sistema auxiliar apresentaram evolução similar na concentração de ST nas fases 2 e 3, verificando-se aumento na concentração de sólidos ao longo dos dias.

Foi observado nas fases 2 e 3 que a concentração de ST é alta somente nos dois primeiros minutos, diminuindo ao longo do tempo de descarga do lodo. Isso demonstra que, tanto na fase 1 quanto na fase 2, a concentração de ST apresentou-se baixa. Para o sistema auxiliar a concentração de ST foi alta durante todo o tempo de descarga do lodo (fase 1 e 2), sendo este fato explicado pela grande quantidade

de lodo que ficou sedimentando em cima da bandeja com a implementação dessa rotina operacional.

### ***Sólidos Suspensos Totais***

Na fase 2 os valores de SST apresentaram concentrações médias por descarga de 214 mgSST/L no decantador 1 e 273 mgSST/L no decantador 2 e 441 mgSST/L no sistema auxiliar. Com a implementação da fase 3 as concentrações médias de SST encontradas no lodo foi de 709 mgSST/L no decantador 1, 574 mgSST/L no decantador 2 e 1.191 mgSST/L no sistema auxiliar de remoção de lodo da bandeja intermediária.

A relação entre SST e ST na fase 2 foi de 17%, 25% e 32%, e na fase 3 de 44%, 46% e 51% para o decantador 1, decantador 2 e sistema auxiliar, respectivamente

Na fase 2 a concentração de SST nos decantadores 1 e 2 apresentou-se baixa, pois, se verificou que, em geral, somente os dois primeiros minutos apresentavam grande quantidade de sólidos. No sistema auxiliar a concentração de SST apresentou-se alta durante todo o tempo de descarga do lodo, sendo este fato novamente explicado pela grande quantidade de lodo que fica sedimentando em cima da bandeja.

Na fase 3 o decantador 1 apresentou concentração elevada de SST durante todo o tempo da descarga de lodo, apresentando os maiores valores no 4<sup>o</sup> minuto. Já o decantador 2 apresentou concentração elevada de SST nos três primeiros minutos, diminuindo essa concentração durante a descarga de lodo. O sistema auxiliar apresentou concentração de SST elevada durante todo o tempo da descarga de lodo, tendo um aumento significativo nos dez minutos finais da descarga, podendo este fato ser explicado pela implementação da nova rotina operacional de remoção do lodo ocorrer somente de 5 em 5 dias, o que faz com que haja um aumento significativo do volume de lodo sedimentado em cima da bandeja.

### **Sólidos Sedimentáveis**

Com a implementação da fase 2 os valores médios de SSed apresentaram-se baixos com 69 mLSSed/L para o decantador 1, 65 mLSSed/L para o decantador 2 e 101 mLSSed/L para o sistema auxiliar.

Na fase 3 os valores médios de SSed foram mais elevados com 262 mLSSed/L para o decantador 1 e 116 mLSSed/L para o decantador 2. O sistema auxiliar foi o que apresentou os maiores valores de SSed, com 430 mLSSed/L, podendo este fato ser explicado pela implementação da nova rotina operacional, que faz com que haja um acúmulo excessivo de lodo sedimentado em cima da bandeja devido a descarga de lodo acontecer somente de 5 em 5 dias.

Apesar dos valores de SSed se apresentarem elevados na fase 3, após tratamento do lodo há a possibilidade de reutilização dessa massa líquida na estação. Isto se torna uma alternativa para o aumento da produção para a água tratada.

Nas fase 2 e 3 os decantadores 1 e 2 e o sistema auxiliar apresentaram evoluções da concentração de SSed semelhantes nas descargas diárias de lodo, acontecendo comportamento similares, aqueles observados para os valores de sólidos totais.

Na fase 2 os decantadores 1 e 2 apresentaram valores altos de SSed somente nos dois primeiros minutos, sendo o mesmo comportamento observado para o sistema auxiliar.

Na fase 3 o decantador 1 apresentou concentração elevada de SSed durante todo o tempo da descarga de lodo, apresentando os maiores valores durante a abertura da válvula. O decantador 2 apresentou concentração elevada de SSed somente no primeiro minuto, apresentando, assim com na fase 2, valores menores durante todo o restante da descarga de lodo. O sistema auxiliar apresentou concentração de SSed elevada durante todo o tempo da descarga de lodo, sendo que esta concentração foi diminuindo durante o tempo de descarga do lodo.

O fato da concentração de SSed ter sido mais elevada na fase 3 justifica-se pelo fato da remoção do lodo ocorrer somente de 5 em 5 dias, o que faz com que haja um acúmulo maior de lodo nos troncos de pirâmide e na bandeja intermediária.

## 9 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 9.1 - CONCLUSÕES

Baseado na avaliação da eficiência dos decantadores da ETA Bolonha, na quantificação do volume de lodo produzido e na caracterização do efluente dessa unidade, durante as três fases do experimento, pode-se concluir que:

- o decantador 1 apresentou resultados expressivos de remoção de SST, turbidez e cor remanescente com a implementação da fase 2, porém, para valores de eficiência média os resultados foram semelhantes nas três fases;
- o decantador 2, que apresenta o sistema de remoção de lodo da bandeja intermediária, apresentou resultados melhores de remoção de SST, turbidez, cor remanescente com a implementação da fase 2, porém, para os valores de eficiência média de SST e turbidez remanescente foi observado que a fase 3 apresentou os melhores resultados.
- sob o ponto de vista de remoção de turbidez, cor, sólidos suspensos dos decantadores 1 e 2 a rotina operacional implementada na fase 2 (remoção de lodo diária, com descargas de 5 minutos) é a mais adequada.
- sob o ponto de vista de geração de resíduos (perda de água) a rotina operacional implementada na fase 2 (remoção de lodo diária, com descargas de 5 minutos) não é adequada, pois, acrescentou em 8% e 17% a perda de água nas descargas dos decantadores 1 e 2, respectivamente;
- com a implementação da rotina operacional da fase 3 (descargas de lodo a cada 5 dias) foi obtido um decréscimo médio de consumo de água de 47%, sendo dessa forma, sob o ponto de vista de geração de resíduos (perda de água) e quantidade de sólidos gerados pelo lodo, a rotina mais adequada;
- os valores de SST encontrados no lodo nas fases 2 e 3 estão condizentes com os obtidos na literatura técnica citada no trabalho;

- a duração das descargas de lodo podem ser inferiores a 5 minutos, uma vez que nas fases 2 e 3 os decantadores 1 e 2 apresentaram concentrações elevadas de ST somente nos dois primeiros minutos e SST somente até o quarto minuto, diminuindo as concentrações ao longo do tempo de descarga do lodo;
- nas fases 2 e 3 o sistema auxiliar apresentou concentração de ST e SST elevada durante todo o tempo da descarga de lodo, podendo a duração das descargas de lodo serem superiores para este sistema;
- de acordo com os valores de SSed obtidos nas fases 2 e 3, pode haver, após tratamento do lodo, a possibilidade de reutilização dessa massa líquida na estação;
- à medida que aumenta o tempo de operação dos decantadores pode ocorrer arraste de flocos, fazendo com que o floco seja carregado e depois volte a acumular na bandeja, podendo esta situação ser agravada pela sobrecarga hidráulica;
- o desempenho da unidade de decantação é influenciado tanto pela qualidade da água floculada, como também, pela rotina de lavagem dos decantadores;
- o desempenho operacional dos decantadores pode ser comprometido pela sobrecarga hidráulica, já que a taxa de escoamento superficial e o tempo de detenção hidráulica dependem da relação vazão/unidade de superfície e volume do decantador/vazão, respectivamente.

## 9.2 Recomendações

Para a realização de novas pesquisas visando alteração da rotina operacional dos decantadores, recomenda-se:

- estudar a rotina empregada na fase 3 deste estudo em todos os decantadores da ETA Bolonha;
- estudar outras rotinas operacionais para os decantadores da ETA Bolonha;
- estudar outros mecanismos de remoção do lodo sedimentado na bandeja intermediária dos decantadores da ETA Bolonha,
- reutilizar a massa líquida, após tratamento do lodo, já que esta se torna uma alternativa para o aumento da produção de água tratada e economia de produto químico, uma vez que existe a possibilidade de se recuperar uma parte do coagulante ainda existente na água;
- verificar de que forma a intensidade pluviométrica afeta a eficiência dos decantadores;
- realizar de forma criteriosa os procedimentos destinados a melhorar o desempenho da unidade de decantação, levando-se em consideração não apenas os fatores diretamente relacionados aos decantadores, mas também aqueles relacionados às unidades de mistura rápida, de floculação e de filtração.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, C.N. **Apostila de Estatística Básica**. Belém, 2002.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19<sup>o</sup> ed. Washington, 1995.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Water quality and treatment**. 4 ed. New York, McGraw Hill 1990.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Water treatment plant waste management**. American Water Works Association Research Foundation, USA, 1987.

\_\_\_\_\_. **Control de calidad y tratamiento del agua**. Madrid, Instituto de Estudios de Administración Local, 1975.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público; procedimento**: NBR 12216/1992. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público**: NBR 592/1989. Rio de Janeiro, 1989.

AZEVEDO NETTO, J.M. In: **Técnicas de abastecimento e tratamento de água**. Vol II, 2<sup>a</sup> edição. São Paulo: CETESB, 1977.

BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos *et al.* Saneamento. In: \_\_\_\_\_. **Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios**. Belo Horizonte: SEGRAC, 1995.

BASTOS, R.K.X.; VARGAS, L.C.; MOYSÉS, S.S.; SILVA, H.C.A. **Avaliação do desempenho de estações de tratamento de água – desvendando o real**. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental.

BRASIL. **Lei Federal nº 6.050**, de 24 de maio de 1974 - Regulamentada pelo Decreto Federal nº 76.872, de 22 de dezembro de 1975.

BRASIL. **Lei de Crimes Ambientais nº 9.605**, de 12 fevereiro de 1998.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. PNUD. **Agenda 21 Brasileira**: bases para discussão. Brasília, 2000.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. PNUD. Portaria nº 518/GM, de 25 de março de 2004. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, jan. 2004.

BRITO, S.A. **Influência da velocidade de sedimentação na determinação dos coeficientes de agregação e ruptura durante a floculação**. 1998. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil. 1998.

CAMP, T.R. **Sedimentation and the Design of Settling Tanks**. Transactions ASCE. Vol III. 1946.

CAMPOS, J.R, POVINELLI, J. Coagulação e Floculação. In: **Técnicas de abastecimento e tratamento de água**. Vol II, 2ª edição. São Paulo: CETESB, 1977.

CASTRO, A.A., DIAS, A.M.V., RENNÓ, C.R.<sup>a</sup>, CÉSAR, L.A.S., DEMATTOS, M., MONTEIRO, T.A.S. O problema da caracterização qualitativa e quantitativa dos efluentes gerados nas estações de tratamento de água – o caso da unidade de tratamento e recuperação de resíduos – UTR do sistema de Rio das Velhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, 1997, Foz do Iguaçu. **Anais ...** Foz do Iguaçu: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997.

CULP. A.M., Kou-Ying Hsiung y Conley W.R. **Tube clarification process, operating experiences**. Proc. ASCE, 95:SA5. 1969.

CUNHA, H.R. **Estudo do comportamento hidráulico e da eficiência na decantação de alta taxa**. 1989. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo, 1989.

DACACH, Nelson Gandur. **Saneamento Básico**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Didática e Científica Ltda, 1990.



DECANTAÇÃO. Disponível em: <<http://www.enq.ufsc.br/disci/eqa5313/Decantacao>>. Acesso em: 13 set. 2003.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 1993. v. 1.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO A. e CENTURIONE FILHO, P.L. **Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. Ed. Rima. São Carlos, 2002.

DROSTE, RONALD L. **Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment**. 1997.

FAIR, G.M., GEYER, John Charles, OKUN, Daniel Alexander. Sedimentación. In: **Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales**. México: Limusa. v.2, cap 25, 1973.

FEREEIRA FILHO, S.S. Pré-condicionamento de lodos de estações de tratamento de água visando o seu adensamento por gravidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, 1997, Foz do Iguaçu. **Anais ...** Foz do Iguaçu: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997.

FEREEIRA FILHO, S.S.; ALÉM SOBRINHO, P. **Considerações sobre o tratamento de lodos de estações de tratamento de água**. São Paulo: Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 1997.

GRANDIN, S.R.; ALÉM SOBRINHO, P.; GARCIA JR, A.D. Desidratação de lodos produzidos em estações de tratamento de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1993, Natal. **Anais ...** Natal: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1993.

HAZEN, A. **On sedimentation**. Transactions ASCE. 1904.

HELLER, L.; CASSEB, M.M.S. Abastecimento de Água. In: **Manual de Saneamento e proteção ambiental para os municípios**. Belo Horizonte: SEGRAC, 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo 2000: Indicadores sociais. Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <http://www.world-aluminium.org/aia/publications/documents/tables.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2002.

HIDROCONSULT. Memorial descritivo relativo a cálculos de volumes de lodos produzidos em várias ETAs.

JORDÃO, E.P; PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

LIBÂNIO, M. **A filtração direta como alternativa na potabilização das águas de abastecimento das pequenas e médias comunidades**. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA CIVIL, 3, Ilha Solteira, 1991.

LEME, P. L. **Teoria e técnicas de tratamento de água**. 2ª edição. ABES. Rio de Janeiro, ABES, 1990.

LORENZ, W.TT. Liquid / solid separation: the chemicals used to make in better. **Water Engineering & manegement**., p. 30-32,abr. 1995.

MACHADO, L.C.G.T.; PEREIRA, J.A.R.; CUNHA, M.V.P.O.; SILVA,N.A.S.; SOUSA,E.C.M. Caracterização do Lodo Gerado nos Decantadores da ETA Bolonha. In: VI SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2002, **Anais ...**

MACHADO, L.C.G.T.; PEREIRA, J.A.R.; CUNHA, M.V.P.O.; SILVA,N.A.S.; SOUSA,E.C.M. Resíduos Produzidos na Estação de Tratamento de Água do Bolonha. In: XXVIII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2002, México. **Anais ... México**.

MACHADO, L.C.G.T; **Análise do ciclo de vida aplicada ao gerenciamento de resíduos: o caso da ETA Bolonha – RMB.**, 2003. Tese (Doutorado). Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará. Belém, 2003.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engeneering: Treatment, disposal, reuse**. 3 ed. Mc Graw Hill, 1991.

MÉTODOS de tratamento. Disponível em: <<http://www.ocaminhodaagua.hpgig.com.br/index2.html>>. Acesso em: 24 nov. 2002.

MONTGOMERY, J.M. **Water treatment principles and design**. New York. Jhon Wiley & Sons, 1985.

NIELSEN, H.L.; CARNS, K.E.; DEBOICE, J. N. Alum sludge thickening and disposal. **Journal American Water Works Association**. 1973.

NUNES, J.A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 3ª edição, Editora Triunfo Ltda, Sergipe, 2001.

OLIVEIRA, W.E. In: **Técnicas de abastecimento e tratamento de água**. Vol I, 2ª edição. São Paulo: CETESB, 1987.

PÁDUA, V.L. e DI BERNARDO, L. Qualidade da água decantada em função do tempo de operação de decantadores convencionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.

PÁDUA, V.L. e DI BERNARDO, L. **Comparação entre turbidez e distribuição de tamanhos de partículas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. **Anais ...** João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.

PÁDUA, V.L. **Investigação experimental visando o emprego de mantas sintéticas não tecidas na filtração de suspensões floculentas no tratamento de água**. 1999. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 1999.

PARLATORE.A.C. Mistura e Flocculação. In: **Técnicas de abastecimento e tratamento de água**. Vol II, 2ª edição. São Paulo: CETESB, 1977.

PEREIRA, J.A,R. *et al.* **Relatório Técnico**: COSANPA, 2003. Belém: GPHS-UFPA, 2003.

PEREIRA, J.A,R. *et al.* **Apostila de Tratamento de Esgoto**. Belém, 2001.

REALLI, M. A. P. Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETAs. In: REALI, M. A. P. (Coord.). **Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. Rio de Janeiro: Projeto PROSAB; ABES, 1999.

RICHTER, C. A. **Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. São Paulo: E. Blücher, 2001.

RICHTER, C.A; AZEVEDO NETO, J.M. **Tratamento de Água**. São Paulo: E. Blücher, 2002.

SEDIMENTAÇÃO. Mecanismos de decantação. Disponível em: <<http://www.enq.ufsc.br/disci/eqa5313/Decantacao.htm>>. Acesso em: 10 jun. 2004.

TRATAMENTO de água. Disponível em: <<http://www.ercom.com.br>>. Acesso em: 30 out. 2002.

TEIXEIRA, L.C.G.M. **Adensamento por gravidade de lodos produzidos em estações de tratamento de água**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

VIANNA, M.R. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água**. Ed. Imprimatur. Belo Horizonte, 2002.

VALENCIA, J. A. **Teoria y practica de la purificacion del agua**, AWWA, Florida, 1992.

YAO, K.M. **Theoretical study of high-rate sedimentation**. Journal of the Water Pollution Control Federation, v.42, n.2, 1970.

YUZHU, W. **Condicionamento de lodo de estação de tratamento de água: estudo de caso**. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1996.

**APÊNDICE A – Resultados da avaliação da eficiência dos decantadores 1, 2, 3, 4, 5 e 6: Turbidez, Cor e Sólidos Suspensos**

TURBIDEZ				
DIA	AB	AFL	D1	AD
0	8	9	L	5
1	10	7	1	3
2	5	18	6	7
3	11	10	4	10
4	10	11	4	7
5	14	8	6	4
6	9	12	3	8
7	6	9	3	5
8	11	15	2	5
9	11	7	10	9
10	8	10	4	8
11	12	12	3	10
<b>MÉDIA</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>7</b>

TURBIDEZ			
DIA	AFL	D1	EFICIÊNCIA (%)
0	9	L	
1	7	1	86
2	18	6	67
3	10	4	60
4	11	4	64
5	8	6	25
6	12	3	75
7	9	3	67
8	15	2	87
9	7	10	-43
10	10	4	60
11	12	3	75
<b>MÉDIA</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>56</b>

TURBIDEZ			
DIA	AFL	AD	EFICIÊNCIA (%)
0	9	5	44
1	7	3	57
2	18	7	61
3	10	10	0
4	11	7	36
5	8	4	50
6	12	8	33
7	9	5	44
8	15	5	67
9	7	9	-29
10	10	8	20
11	12	10	17
<b>MÉDIA</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>33</b>

TURBIDEZ				
DIA	AB	AFL	D2	AD
0	5	18	L	7
1	11	10	6	10
2	10	11	3	7
3	14	8	6	4
4	9	12	7	8
5	6	9	2	5
6	11	15	2	5
7	11	7	5	9
8	8	10	7	8
9	12	12	6	10
10	12	10	5	2
11	3	11	4	6
<b>MÉDIA</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>7</b>

TURBIDEZ			
DIA	AFL	D2	EFICIÊNCIA (%)
0	18	L	
1	10	6	40
2	11	3	73
3	8	6	25
4	12	7	42
5	9	2	78
6	15	2	87
7	7	5	29
8	10	7	30
9	12	6	50
10	10	5	50
11	11	4	64
<b>MÉDIA</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>51</b>

TURBIDEZ			
DIA	AFL	AD	EFICIÊNCIA (%)
0	18	7	61
1	10	10	0
2	11	7	36
3	8	4	50
4	12	8	33
5	9	5	44
6	15	5	67
7	7	9	-29
8	10	8	20
9	12	10	17
10	10	2	80
11	11	6	45
<b>MÉDIA</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>35</b>

TURBIDEZ				
DIA	AB	AFL	D3	AD
0	10	11	L	7
1	14	8	2	4
2	9	12	2	8
3	6	9	3	5
4	11	15	4	5
5	11	7	5	9
6	8	10	6	8
7	12	12	2	10
8	12	10	5	2
9	3	11	3	6
10	4	14	4	16
11	6	16	6	6
<b>MÉDIA</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>7</b>

TURBIDEZ			
DIA	AFL	D3	EFICIÊNCIA (%)
0	11	L	
1	8	2	75
2	12	2	83
3	9	3	67
4	15	4	73
5	7	5	29
6	10	6	40
7	12	2	83
8	10	5	50
9	11	3	73
10	14	4	71
11	16	6	63
<b>MÉDIA</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>64</b>

TURBIDEZ			
DIA	AFL	AD	EFICIÊNCIA (%)
0	11	7	36
1	8	4	50
2	12	8	33
3	9	5	44
4	15	5	67
5	7	9	-29
6	10	8	20
7	12	10	17
8	10	2	80
9	11	6	45
10	14	16	-14
11	16	6	63
<b>MÉDIA</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>34</b>

TURBIDEZ				
DIA	AB	AFL	D4	AD
0	9	12	L	8
1	6	9	7	5
2	11	15	3	5
3	11	7	4	9
4	8	10	7	8
5	12	12	5	10
6	12	10	5	2
7	3	11	2	6
8	4	14	7	16
9	6	16	3	6
10	7	14	2	9
11	10	10	5	6
<b>MÉDIA</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>8</b>

TURBIDEZ			
DIA	AFL	D4	EFICIÊNCIA (%)
0	12	L	
1	9	7	22
2	15	3	80
3	7	4	43
4	10	7	30
5	12	5	58
6	10	5	50
7	11	2	82
8	14	7	50
9	16	3	81
10	14	2	86
11	10	5	50
<b>MÉDIA</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>57</b>

TURBIDEZ			
DIA	AFL	AD	EFICIÊNCIA (%)
0	12	8	33
1	9	5	44
2	15	5	67
3	7	9	-29
4	10	8	20
5	12	10	17
6	10	2	80
7	11	6	45
8	14	16	-14
9	16	6	63
10	14	9	36
11	10	6	40
<b>MÉDIA</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>33</b>

TURBIDEZ				
DIA	AB	AFL	D5	AD
0	11	15	L	5
1	11	7	4	9
2	8	10	7	8
3	12	12	3	10
4	12	10	3	2
5	3	11	3	6
6	4	14	9	16
7	6	16	2	6
8	7	14	4	9
9	10	10	2	6
10	9	11	2	5
11	4	17	5	4
<b>MÉDIA</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>7</b>

TURBIDEZ			
DIA	AFL	D5	EFICIÊNCIA (%)
0	15	L	
1	7	4	43
2	10	7	30
3	12	3	75
4	10	3	70
5	11	3	73
6	14	9	36
7	16	2	88
8	14	4	71
9	10	2	80
10	11	2	82
11	17	5	71
<b>MÉDIA</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>65</b>

TURBIDEZ			
DIA	AFL	AD	EFICIÊNCIA (%)
0	15	5	67
1	7	9	-29
2	10	8	20
3	12	10	17
4	10	2	80
5	11	6	45
6	14	16	-14
7	16	6	63
8	14	9	36
9	10	6	40
10	11	5	55
11	17	4	76
<b>MÉDIA</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>38</b>

TURBIDEZ				
DIA	AB	AFL	D6	AD
0	8	10	L	8
1	12	12	2	10
2	12	10	4	2
3	3	11	2	6
4	4	14	5	16
5	6	16	6	6
6	7	14	5	9
7	10	10	2	6
8	9	11	3	5
9	4	17	6	4
10	7	15	3	6
11	10	10	1	4
<b>MÉDIA</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>7</b>

TURBIDEZ			
DIA	AFL	D6	EFICIÊNCIA (%)
0	10	L	
1	12	2	83
2	10	4	60
3	11	2	82
4	14	5	64
5	16	6	63
6	14	5	64
7	10	2	80
8	11	3	73
9	17	6	65
10	15	3	80
11	10	1	90
<b>MÉDIA</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>73</b>

TURBIDEZ			
DIA	AFL	AD	EFICIÊNCIA (%)
0	10	8	20
1	12	10	17
2	10	2	80
3	11	6	45
4	14	16	-14
5	16	6	63
6	14	9	36
7	10	6	40
8	11	5	55
9	17	4	76
10	15	6	60
11	10	4	60
<b>MÉDIA</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>45</b>

COR				
DIA	AB	AFL	D1	AD
0	78	72	L	40
1	88	67	10	17
2	75	73	47	41
3	92	78	18	24
4	94	82	17	28
5	96	90	32	44
6	83	73	26	41
7	94	90	37	50
8	80	72	12	24
9	77	81	65	57
10	87	84	50	59
11	100	101	33	36
<b>MÉDIA</b>	<b>87</b>	<b>80</b>	<b>32</b>	<b>38</b>

COR			
DIA	AFL	D1	EFICIÊNCIA (%)
0	72	L	
1	67	10	85
2	73	47	36
3	78	18	77
4	82	17	79
5	90	32	64
6	73	26	64
7	90	37	59
8	72	12	83
9	81	65	20
10	84	50	40
11	101	33	67
<b>MÉDIA</b>	<b>80</b>	<b>32</b>	<b>61</b>

COR			
DIA	AFL	AD	EFICIÊNCIA (%)
0	72	40	44
1	67	17	75
2	73	41	44
3	78	24	69
4	82	28	66
5	90	44	51
6	73	41	44
7	90	50	44
8	72	24	67
9	81	57	30
10	84	59	30
11	101	36	64
<b>MÉDIA</b>	<b>80</b>	<b>38</b>	<b>52</b>

COR				
DIA	AB	AFL	D2	AD
0	75	73	L	41
1	92	78	46	24
2	94	82	19	28
3	96	90	25	44
4	83	73	61	41
5	94	90	40	50
6	80	72	26	24
7	77	81	49	57
8	87	84	72	59
9	100	101	54	36
10	129	113	57	36
11	88	78	46	19
<b>MÉDIA</b>	<b>91</b>	<b>85</b>	<b>45</b>	<b>38</b>

COR			
DIA	AFL	D2	EFICIÊNCIA (%)
0	73	L	
1	78	46	41
2	82	19	77
3	90	25	72
4	73	61	16
5	90	40	56
6	72	26	64
7	81	49	40
8	84	72	14
9	101	54	47
10	113	57	50
11	78	46	41
<b>MÉDIA</b>	<b>85</b>	<b>45</b>	<b>47</b>

COR			
DIA	AFL	AD	EFICIÊNCIA (%)
0	73	41	44
1	78	24	69
2	82	28	66
3	90	44	51
4	73	41	44
5	90	50	44
6	72	24	67
7	81	57	30
8	84	59	30
9	101	36	64
10	113	36	68
11	78	19	76
<b>MÉDIA</b>	<b>85</b>	<b>38</b>	<b>54</b>



COR				
DIA	AB	AFL	D3	AD
0	94	82	L	28
1	96	90	39	44
2	83	73	26	41
3	94	90	40	50
4	80	72	16	24
5	77	81	58	57
6	87	84	58	59
7	100	101	34	36
8	129	113	42	36
9	88	78	35	19
10	86	65	63	21
11	82	81	37	29
<b>MÉDIA</b>	<b>91</b>	<b>84</b>	<b>41</b>	<b>37</b>

COR			
DIA	AFL	D3	EFICIÊNCIA (%)
0	82	L	
1	90	39	57
2	73	26	64
3	90	40	56
4	72	16	78
5	81	58	28
6	84	58	31
7	101	34	66
8	113	42	63
9	78	35	55
10	65	63	3
11	81	37	54
<b>MÉDIA</b>	<b>84</b>	<b>41</b>	<b>50</b>

COR			
DIA	AFL	AD	EFICIÊNCIA (%)
0	82	28	66
1	90	44	51
2	73	41	44
3	90	50	44
4	72	24	67
5	81	57	30
6	84	59	30
7	101	36	64
8	113	36	68
9	78	19	76
10	65	21	68
11	81	29	64
<b>MÉDIA</b>	<b>84</b>	<b>37</b>	<b>56</b>

COR				
DIA	AB	AFL	D4	AD
0	83	73	L	41
1	94	90	41	50
2	80	72	21	24
3	77	81	56	57
4	87	84	66	59
5	100	101	32	36
6	129	113	32	36
7	88	78	16	19
8	86	65	44	21
9	82	81	28	29
10	92	85	40	46
11	89	89	28	36
<b>MÉDIA</b>	<b>91</b>	<b>84</b>	<b>37</b>	<b>38</b>

COR			
DIA	AFL	D4	EFICIÊNCIA (%)
0	73	L	
1	90	41	54
2	72	21	71
3	81	56	31
4	84	66	21
5	101	32	68
6	113	32	72
7	78	16	79
8	65	44	32
9	81	28	65
10	85	40	53
11	89	28	69
<b>MÉDIA</b>	<b>84</b>	<b>37</b>	<b>56</b>

COR			
DIA	AFL	AD	EFICIÊNCIA (%)
0	73	41	44
1	90	50	44
2	72	24	67
3	81	57	30
4	84	59	30
5	101	36	64
6	113	36	68
7	78	19	76
8	65	21	68
9	81	29	64
10	85	46	46
11	89	36	60
<b>MÉDIA</b>	<b>84</b>	<b>38</b>	<b>55</b>

COR				
DIA	AB	AFL	D5	AD
0	80	72	L	24
1	77	81	57	57
2	87	84	51	59
3	100	101	27	36
4	129	113	33	36
5	88	78	17	19
6	86	65	38	21
7	82	81	39	29
8	92	85	59	46
9	89	89	19	36
10	90	83	17	43
11	72	92	16	40
<b>MÉDIA</b>	<b>89</b>	<b>85</b>	<b>34</b>	<b>37</b>

COR			
DIA	AFL	D5	EFICIÊNCIA (%)
0	72	L	
1	81	57	30
2	84	51	39
3	101	27	73
4	113	33	71
5	78	17	78
6	65	38	42
7	81	39	52
8	85	59	31
9	89	19	79
10	83	17	80
11	92	16	83
<b>MÉDIA</b>	<b>85</b>	<b>34</b>	<b>60</b>

COR			
DIA	AFL	AD	EFICIÊNCIA (%)
0	72	24	67
1	81	57	30
2	84	59	30
3	101	36	64
4	113	36	68
5	78	19	76
6	65	21	68
7	81	29	64
8	85	46	46
9	89	36	60
10	83	43	48
11	92	40	57
<b>MÉDIA</b>	<b>85</b>	<b>37</b>	<b>56</b>

COR				
DIA	AB	AFL	D6	AD
0	87	84	L	59
1	100	101	27	36
2	129	113	26	36
3	88	78	16	19
4	86	65	35	21
5	82	81	24	29
6	92	85	39	46
7	89	89	22	36
8	90	83	17	43
9	72	92	39	40
10	99	133	21	48
11	93	93	31	39
<b>MÉDIA</b>	<b>92</b>	<b>91</b>	<b>27</b>	<b>38</b>

COR			
DIA	AFL	D6	EFICIÊNCIA (%)
0	84	L	
1	101	27	73
2	113	26	77
3	78	16	79
4	65	35	46
5	81	24	70
6	85	39	54
7	89	22	75
8	83	17	80
9	92	39	58
10	133	21	84
11	93	31	67
<b>MÉDIA</b>	<b>91</b>	<b>27</b>	<b>69</b>

COR			
DIA	AFL	AD	EFICIÊNCIA (%)
0	84	59	30
1	101	36	64
2	113	36	68
3	78	19	76
4	65	21	68
5	81	29	64
6	85	46	46
7	89	36	60
8	83	43	48
9	92	40	57
10	133	48	64
11	93	39	58
<b>MÉDIA</b>	<b>91</b>	<b>38</b>	<b>58</b>

SÓLIDOS SUSPENSOS				
DIA	AB	AFL	D1	AD
0	5	10	L	5
1	9	8	2	2
2	2	9	5	4
3	7	8	3	4
4	7	10	2	7
5	6	6	4	4
6	5	10	2	3
7	11	8	7	5
8	5	10	2	6
9	5	6	3	4
10	11	13	4	6
11	6	8	1	3
<b>MÉDIA</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>4</b>

SÓLIDOS SUSPENSOS			
DIA	AFL	D1	EFICIÊNCIA (%)
0	10	L	
1	8	2	75
2	9	5	44
3	8	3	63
4	10	2	80
5	6	4	33
6	10	2	80
7	8	7	13
8	10	2	80
9	6	3	50
10	13	4	69
11	8	1	88
<b>MÉDIA</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>61</b>

SÓLIDOS SUSPENSOS			
DIA	AFL	AD	EFICIÊNCIA (%)
0	10	5	50
1	8	2	75
2	9	4	56
3	8	4	50
4	10	7	30
5	6	4	33
6	10	3	70
7	8	5	38
8	10	6	40
9	6	4	33
10	13	6	54
11	8	3	63
<b>MÉDIA</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>49</b>

SÓLIDOS SUSPENSOS				
DIA	AB	AFL	D2	AD
0	2	9	L	4
1	7	8	3	4
2	7	10	6	7
3	6	6	2	4
4	5	10	6	3
5	11	8	3	5
6	5	10	3	6
7	5	6	4	4
8	11	13	6	6
9	6	8	5	3
10	7	6	6	2
11	4	8	5	3
<b>MÉDIA</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>4</b>

SÓLIDOS SUSPENSOS			
DIA	AFL	D2	EFICIÊNCIA (%)
0	9	L	
1	8	3	63
2	10	6	40
3	6	2	67
4	10	6	40
5	8	3	63
6	10	3	70
7	6	4	33
8	13	6	54
9	8	5	38
10	6	6	0
11	8	5	38
<b>MÉDIA</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>46</b>

SÓLIDOS SUSPENSOS			
DIA	AFL	AD	EFICIÊNCIA (%)
0	9	4	56
1	8	4	50
2	10	7	30
3	6	4	33
4	10	3	70
5	8	5	38
6	10	6	40
7	6	4	33
8	13	6	54
9	8	3	63
10	6	2	67
11	8	3	63
<b>MÉDIA</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>50</b>

SÓLIDOS SUSPENSOS				
DIA	AB	AFL	D3	AD
0	7	10	L	7
1	6	6	3	4
2	5	10	3	3
3	11	8	2	5
4	5	10	3	6
5	5	6	3	4
6	11	13	4	6
7	6	8	1	3
8	7	6	2	2
9	4	8	5	3
10	4	7	5	10
11	7	10	4	6
<b>MÉDIA</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>5</b>

SÓLIDOS SUSPENSOS			
DIA	AFL	D3	EFICIÊNCIA (%)
0	10	L	
1	6	3	50
2	10	3	70
3	8	2	75
4	10	3	70
5	6	3	50
6	13	4	69
7	8	1	88
8	6	2	67
9	8	5	38
10	7	5	29
11	10	4	60
<b>MÉDIA</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>60</b>

SÓLIDOS SUSPENSOS			
DIA	AFL	AD	EFICIÊNCIA (%)
0	10	7	30
1	6	4	33
2	10	3	70
3	8	5	38
4	10	6	40
5	6	4	33
6	13	6	54
7	8	3	63
8	6	2	67
9	8	3	63
10	7	10	-43
11	10	6	40
<b>MÉDIA</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>41</b>

SÓLIDOS SUSPENSOS				
DIA	AB	AFL	D4	AD
0	5	10	L	3
1	11	8	2	5
2	5	10	2	6
3	5	6	2	4
4	11	13	4	6
5	6	8	3	3
6	7	6	3	2
7	4	8	3	3
8	4	7	7	10
9	7	10	4	6
10	5	6	3	8
11	14	20	3	5
<b>MÉDIA</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>5</b>

SÓLIDOS SUSPENSOS			
DIA	AFL	D4	EFICIÊNCIA (%)
0	10	L	
1	8	2	75
2	10	2	80
3	6	2	67
4	13	4	69
5	8	3	63
6	6	3	50
7	8	3	63
8	7	7	0
9	10	4	60
10	6	3	50
11	20	3	85
<b>MÉDIA</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>60</b>

SÓLIDOS SUSPENSOS			
DIA	AFL	AD	EFICIÊNCIA (%)
0	10	3	70
1	8	5	38
2	10	6	40
3	6	4	33
4	13	6	54
5	8	3	63
6	6	2	67
7	8	3	63
8	7	10	-43
9	10	6	40
10	6	8	-33
11	20	5	75
<b>MÉDIA</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>39</b>

SÓLIDOS SUSPENSOS				
DIA	AB	AFL	D5	AD
0	5	10	L	6
1	5	6	4	4
2	11	13	3	6
3	6	8	2	3
4	7	6	2	2
5	4	8	3	3
6	4	7	5	10
7	7	10	4	6
8	5	6	4	8
9	14	20	2	5
10	6	6	2	22
11	4	12	1	14
<b>MÉDIA</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>7</b>

SÓLIDOS SUSPENSOS			
DIA	AFL	D5	EFICIÊNCIA (%)
0	10	L	
1	6	4	33
2	13	3	77
3	8	2	75
4	6	2	67
5	8	3	63
6	7	5	29
7	10	4	60
8	6	4	33
9	20	2	90
10	6	2	67
11	12	1	92
<b>MÉDIA</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>62</b>

SÓLIDOS SUSPENSOS			
DIA	AFL	AD	EFICIÊNCIA (%)
0	10	6	40
1	6	4	33
2	13	6	54
3	8	3	63
4	6	2	67
5	8	3	63
6	7	10	-43
7	10	6	40
8	6	8	-33
9	20	5	75
10	6	22	-267
11	12	14	-17
<b>MÉDIA</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>6</b>

SÓLIDOS SUSPENSOS				
DIA	AB	AFL	D6	AD
0	11	13	L	6
1	6	8	1	3
2	7	6	2	2
3	4	8	4	3
4	4	7	7	10
5	7	10	3	6
6	5	6	4	8
7	14	20	2	5
8	6	6	2	22
9	4	12	3	14
10	9	12	3	5
11	21	14	3	7
<b>MÉDIA</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>8</b>

SÓLIDOS SUSPENSOS			
DIA	AFL	D6	EFICIÊNCIA (%)
0	13	L	
1	8	1	88
2	6	2	67
3	8	4	50
4	7	7	0
5	10	3	70
6	6	4	33
7	20	2	90
8	6	2	67
9	12	3	75
10	12	3	75
11	14	3	79
<b>MÉDIA</b>	<b>10</b>	<b>3</b>	<b>63</b>

SÓLIDOS SUSPENSOS			
DIA	AFL	AD	EFICIÊNCIA (%)
0	13	6	54
1	8	3	63
2	6	2	67
3	8	3	63
4	7	10	-43
5	10	6	40
6	6	8	-33
7	20	5	75
8	6	22	-267
9	12	14	-17
10	12	5	58
11	14	7	50
<b>MÉDIA</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>9</b>

**APÊNDICE B – Resultados da caracterização do lodo do decantador 2: Sólidos Totais, Sólidos Suspensos e Sólidos Sedimentáveis**

SÓLIDOS TOTAIS									
TEMPO (min.)	COLETA 1				COLETA 2				
	V1	V2	V3	MÉDIA	V1	V2	V3	MÉDIA	
10	2549	4956	1237	2914	286	4412	503	1734	
20	719	115	5580	2138	610	780	1519	970	
30	2410	2897	900	2069	2695	212	4924	2610	
40	2945	7040	2969	4318	5001	2952	3087	3680	
50	4029	6216	5237	5161	4809	4836	5722	5122	
60	3042	216	4226	2495	4686	6682	1759	4376	
70	3072	144	831	1349	3084	4142	3174	3467	
80	337	156	129	207	230	288	126	215	
90	119	320	106	182	125	95	250	157	
100	3703	6236	1768	3902	109	4337	2049	2165	
110	4605	4904	3452	4320	4600	1695	7381	4559	
120	239	248	5211	1899	5441	2310	3868	3873	
130	5107	7732	848	4562	7897	4182	6643	6241	
140	8869		9182	9026	176	6366	7252	4598	
<b>MÉDIA</b>				<b>3182</b>	<b>MÉDIA</b>				<b>3126</b>

SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS									
TEMPO (min.)	COLETA 1				COLETA 2				
	V1	V2	V3	MÉDIA	V1	V2	V3	MÉDIA	
10	1770	2140	720	1543	140	2340	168	883	
20	205	34	2040	760	80	420	900	467	
30	700	1700	280	893	1040	197	3320	1519	
40	2700	3600	1380	2560	3160	2300	1080	2180	
50	2020	3120	2080	2407	3420	1580	3340	2780	
60	2660	120	1620	1467	2020	3940	1220	2393	
70	1720	60	160	647	1480	2900	1820	2067	
80	36	60	60	52	200	101	38	113	
90	26	120	40	62	100	34	118	84	
100	2210	4760	920	2630	75	3020	1640	1578	
110	2400	2380	1440	2073	2800	740	3340	2293	
120	116	80	3500	1232	2480	1220	1760	1820	
130	1900	5660	240	2600	4960	2170	4620	3917	
140	4480		5520	5000	96	2240	4500	2279	
<b>MÉDIA</b>				<b>1709</b>	<b>MÉDIA</b>				<b>1741</b>

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS								
TEMPO (min.)	COLETA 1				COLETA 2			
	V1	V2	V3	MÉDIA	V1	V2	V3	MÉDIA
10	225	34	300	186	18	90	48	52
20	2,3	17	60	26	58	34	12	35
30	540	500	20	353	160	70	315	182
40	910	850	420	727	800	700	455	652
50	790	670	810	757	900	700	570	723
60	180	25	670	292	810	470	430	570
70	0,7	0,5	48	16	370	35	270	225
80	0,5	48	0,5	16	24	21	6,5	17
90	0,5	440	2	148	3	7	3	4
100	800	250	270	440	1	13	250	88
110	580	40	690	437	190	290	470	317
120	15	1000	160	392	720	400	640	587
130	150		10	80	350	50	68	156
140	350		910	630	9	900	600	503
<b>MÉDIA</b>				<b>321</b>	<b>MÉDIA</b>			<b>294</b>

### APÊNDICE C - Resultados da avaliação da eficiência dos decantadores 1 e 2: Turbidez, Cor e Sólidos Suspensos

TURBIDEZ						
DIA	AFL - D1	D1	Eficiência (%)	AFL - D2	D2	Eficiência (%)
0					L	
1		L		9	2	78
2	11	3	73	15	4	73
3	6	1	83	8	1	88
4	6	1	83	5	4	20
5	7	1	86	9	1	89
6	10	2	80	7	3	57
7	5	2	60	10	4	60
8	7	2	71	6	2	67
9	8	2	75	8	3	63
10	7	2	71	9	3	67
11	9	1	89	11	2	82
12	10	2	80	9	2	78
13	8	2	75	9	3	67
14	8	2	75	7	3	57
15	6	1	83	5	3	40
16	15	3	80	8	3	63
17	5	2	60	5	4	20
18	7	2	71	6	3	50
19	7	2	71	6	3	50
20	9	2	78	10	4	60
21	7	2	71	7	4	43
22	8	3	63	7	4	43
23	7	3	57	6	4	33
24	9	3	67	8	4	50
25	5	2	60	4	5	-25
26	5	2	62	5	4	18
27	7	3	57	8	5	33
28	8	4	47	8	6	22
29	3	3	2			
30	3	4	-35			
31						
<b>MÉDIA</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>65</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>52</b>

COR						
DIA	AFL - D1	D1	Eficiência (%)	AFL - D2	D2	Eficiência (%)
0					L	
1		L		68	21	69
2	65	18	72	61	18	70
3	57	17	70	71	19	73
4	65	15	77	68	21	69
5	43	11	74	53	22	58
6	60	12	80	59	17	71
7	57	16	72	53	20	62
8	57	16	72	56	21	63
9	47	13	72	50	19	62
10	37	18	51	51	16	69
11	58	16	72	66	22	67
12	55	15	73	56	20	64
13	53	12	77	50	16	68
14	50	14	72	52	18	65
15	51	21	59	51	22	57
16	56	14	75	53	17	68
17	51	16	69	53	28	47
18	53	18	66	58	18	69
19	56	21	63	54	20	63
20	47	27	43	47	25	47
21	53	22	58	53	26	51
22	57	18	68	57	20	65
23	64	20	69	63	22	65
24	65	19	71	63	27	57
25	60	19	68	80	34	58
26	64	23	64	63	28	56
27	59	32	46	71	38	46
28	72	22	69	77	40	48
29	43	30	30			
30	55	36	35			
31						
<b>MÉDIA</b>	<b>56</b>	<b>19</b>	<b>65</b>	<b>59</b>	<b>23</b>	<b>62</b>



<b>SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS</b>						
<b>DIA</b>	<b>AFL - D1</b>	<b>D1</b>	<b>Eficiência (%)</b>	<b>AFL - D2</b>	<b>D2</b>	<b>Eficiência (%)</b>
0					L	
1		L		4	1	75
2	5	2	60	4	2	50
3	3	1	67	5	1	80
4	4	1	75	4	2	50
5	5	2	60	5	2	60
6	4	2	50	4	2	50
7	4	2	50	6	2	67
8	5	1	80	4	2	50
9	4	1	75	5	2	60
10	5	1	80	4	1	75
11	6	1	83	6	2	67
12	4	1	75	4	2	50
13	4	1	75	5	2	60
14	5	2	60	4	2	50
15	4	2	50	3	2	33
16	5	1	80	6	2	67
17	4	2	50	3	2	33
18	4	2	50	6	1	83
19	6	2	67	4	1	75
20	6	1	83	7	3	57
21	5	1	80	5	2	60
22	5	3	40	3	3	0
23	4	1	75	3	2	33
24	5	2	60	5	3	40
25	5	2	60	4	3	25
26	9	3	67	10	8	20
27	10	5	50	8	9	-13
28	12	6	50	12	8	33
29	9	6	33			
30	7	7	0			
31						
<b>MÉDIA</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>62</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>50</b>

**APÊNDICE D – Resultados da caracterização dos lodos dos decantadores 1 e 2: Sólidos Totais, Sólidos Suspensos e Sólidos Sedimentáveis**

SÓLIDOS TOTAIS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
0		L				
1	0	451	506	656	538	456
	1	543	784	810	712	
	2	330	693	662	562	
	3	201	479	443	374	
	4	243	429	239	304	
	5	113	368	255	245	
2	0	159	1428	875	821	431
	1	220	281	1261	587	
	2	185	125	1186	499	
	3	138	126	746	337	
	4	170	130	239	180	
	5	86	162	235	161	
3	0	540	1469	167	725	629
	1	916	538	739	731	
	2	1521	175	933	876	
	3	1375	172	500	682	
	4	579	158	501	413	
	5	408	172	460	347	
4	0	1292	2038	149	1160	464
	1	511	239	1225	658	
	2	777	265	322	455	
	3	754	261	134	383	
	4		273	119	131	
	5				0	
5	0	1705	788		1247	958
	1	1123	999		1061	
	2	592	1116		854	
	3	443	1148		796	
	4	484	1581		1032	
	5	746	775		761	

SÓLIDOS TOTAIS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
0		L				
1	0	742	398	454	531	465
	1	601	372	817	597	
	2	550	341	795	562	
	3	427	343	423	398	
	4	374	382	327	361	
	5	232	474	317	341	
2	0	645	870	412	642	469
	1	702	729	257	563	
	2	380	446	265	364	
	3	284	407	539	410	
	4	309	416	610	445	
	5	390	447	327	388	
3	0	163	904	731	599	516
	1	752	982	750	828	
	2	286	694	411	464	
	3	297	711	301	436	
	4	286	736	259	427	
	5	310	181	525	339	
4	0	785	1199	632	872	521
	1	777	1022	644	814	
	2	510	723	497	577	
	3	291	500	184	325	
	4	170	161	146	159	
	5	445	194	497	379	
5	0	760	918	144	607	550
	1	928	315	1646	963	
	2	142	97	1263	501	
	3	209	147	1035	464	
	4	140	144	910	398	
	5	286	136	673	365	

Continuação

SÓLIDOS TOTAIS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
6	0				0	
	1				0	
	2				0	
	3				0	
	4				0	
	5				0	
7	0				0	
	1				0	
	2				0	
	3				0	
	4				0	
	5				0	
8	0	771	589	536	632	674
	1	1299	1237	705	1080	
	2	1474	1083	392	983	
	3	811	463	124	466	
	4	745	195	365	435	
	5	611	119	615	448	
9	0	864	1661	600	1042	529
	1	239	1435	159	611	
	2	152	1161	182	498	
	3	109	436	187	244	
	4	742	167	158	356	
	5	689	373	206	423	
10	0				0	
	1				0	
	2				0	
	3				0	
	4				0	
	5				0	

SÓLIDOS TOTAIS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
6	0	878	643	2441	1321	535
	1	606	1454	464	841	
	2	356	684	158	399	
	3	174	365	197	245	
	4	317	148	179	215	
	5	269	145	145	186	
7	0	1440	1168	285	964	536
	1	971	311	932	738	
	2	216	151	545	304	
	3	198	143	698	346	
	4	607	258	553	473	
	5	378	274	529	394	
8	0	617	639	192	483	558
	1	848	308	380	512	
	2	411	736	783	643	
	3	243	604	726	524	
	4	989	807	517	771	
	5	883	213	149	415	
9	0	794	1114	1225	1044	465
	1	752	770	606	709	
	2	347	403	191	314	
	3	275	315	167	252	
	4	590	134	166	297	
	5	162	234	127	174	
10	0	946	273	161	460	467
	1	240	116	756	371	
	2	410	237	245	297	
	3	203	166	101	157	
	4	1195	508	216	640	
	5	1196	1115	326	879	

Continuação

SÓLIDOS TOTAIS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
11	0	2156	1517	1661	1778	625
	1	865	450	646	654	
	2	558	370	404	444	
	3	815	145	534	498	
	4	207	153	235	198	
	5	250	78	207	178	
12	0	1734	735	1282	1250	534
	1	452	251	645	449	
	2	200	693	357	417	
	3	214	889	212	438	
	4	523	370	173	355	
	5	630	147	113	297	
13	0	646	836	1029	837	506
	1	922	1044	1490	1152	
	2	402	557	140	366	
	3	263	563	146	324	
	4	212	308	120	213	
	5	232	111	94	146	
14	0	2013	494	566	1024	505
	1	1236	495	978	903	
	2	514	460	609	528	
	3	110	297	318	242	
	4	99	239	280	206	
	5	35	88	262	128	
15	0	1908	1444	455	1269	541
	1	1224	273	218	572	
	2	834	183	326	448	
	3	779	134	267	393	
	4	898	149	191	413	
	5	204	106	151	154	

SÓLIDOS TOTAIS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
11	0	1039	911	578	843	505
	1	749	891	1268	969	
	2	379	662	512	518	
	3	701	305	180	395	
	4	360	28	114	167	
	5	167	162	91	140	
12	0	504	1128	1184	939	475
	1	409	330	817	519	
	2	629	334	186	383	
	3	198	433	193	275	
	4	499	281	353	378	
	5	142	164	757	354	
13	0	810	317	440	522	446
	1	1064	971	905	980	
	2	740	550	419	570	
	3	338	342	205	295	
	4	194	241	190	208	
	5	113	110	80	101	
14	0	1464	570	989	1008	474
	1	1152	870	1088	1037	
	2	529	328	441	433	
	3	98	64	93	85	
	4	336	75	129	180	
	5	162	88	49	100	
15	0	427	776	669	624	483
	1	1549	348	222	706	
	2	1300	261	219	593	
	3	574	616	157	449	
	4	518	398	104	340	
	5	133	247	176	185	

Continuação

SÓLIDOS TOTAIS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
16	0	953	979	942	958	520
	1	809	747	531	696	
	2	672	687	344	568	
	3	366	559	221	382	
	4	270	386	220	292	
	5	292	239	135	222	
17	0	331	324	916	524	555
	1	1256	697	179	711	
	2	986	363	135	495	
	3	679	510	335	508	
	4	626	657	348	544	
	5	83	841	722	549	
18	0	1042	1034	1133	1070	558
	1	882	948	965	932	
	2	668	473	497	546	
	3	411	301	268	327	
	4	255	246	235	245	
	5	240	184	265	230	
19	0	1156	1988	1303	1482	568
	1	227	892	679	599	
	2	193	104	419	239	
	3	100	387	160	216	
	4	89	396	109	198	
	5	95	1089	830	671	
20	0	1881	760	1397	1346	613
	1	1042	943	725	903	
	2	314	392	541	416	
	3	153	480	604	412	
	4	199	523	129	284	
	5	631	181	145	319	

SÓLIDOS TOTAIS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
16	0	2249	393	221	954	535
	1	935	247	216	466	
	2	410	1165	402	659	
	3	605	272	483	453	
	4	499	156	532	396	
	5	140	323	383	282	
17	0	2626	1058	1225	1636	661
	1	1446	272	406	708	
	2	1555	310	284	716	
	3	184	791	393	456	
	4	120	517	122	253	
	5	181	294	118	198	
18	0	890	1296	783	990	695
	1	462	918	779	720	
	2	271	195	4510	1659	
	3	145	173	445	254	
	4	410	263	231	301	
	5	477	160	105	247	
19	0	1008	1137	1033	1059	688
	1	1166	1279	1385	1277	
	2	481	534	429	481	
	3	384	464	640	496	
	4	679	188	456	441	
	5	193	822	108	374	
20	0	1022	1796	1014	1277	726
	1	1468	1554	1008	1343	
	2	735	620	872	742	
	3	677	89	428	398	
	4	110	865	390	455	
	5	128	119	180	142	

Continuação

SÓLIDOS TOTAIS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
21	0	1410	2277	1353	1680	648
	1	678	787	905	790	
	2	846	690	368	635	
	3	905	151	107	388	
	4	223	130	453	269	
	5	128	124	133	128	
22	0	1821	2287	2167	2092	896
	1	1008	1401	1021	1143	
	2	864	163	1309	779	
	3	171	459	1698	776	
	4	358	305	145	269	
	5	63	811	82	319	
23	0	1115	9696	4300	5037	1260
	1	1505	563	883	984	
	2	763	415	776	651	
	3	584	282	280	382	
	4	264	229	294	262	
	5	233	231	271	245	
24	0	4266	3473	2834	3524	1576
	1	2030	2826	3394	2750	
	2	1678	1474	346	1166	
	3	1754	554	138	815	
	4	1727	410	147	761	
	5	520	632	158	437	
25	0	339	7640	3572	3850	1601
	1	8142	693	4077	4304	
	2	1210	589	128	642	
	3	329	441	68	279	
	4	224	271	35	177	
	5	825	131	104	353	

SÓLIDOS TOTAIS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
21	0	1241	4494	1301	2345	825
	1	1956	1431	322	1236	
	2	304	305	176	262	
	3	221	124	1629	658	
	4	322	123	109	185	
	5	358	120	309	262	
22	0	1533	1277	1713	1508	991
	1	1202	3980	921	2034	
	2	1360	876	477	904	
	3	835	595	636	689	
	4	356	662	503	507	
	5	405	378	128	304	
23	0	4166	3409	2349	3308	1429
	1	154	1672	4056	1961	
	2	231	543	1226	667	
	3	202	477	1995	891	
	4	107	2543	249	966	
	5	148	900	1298	782	
24	0	270	6344	634	2416	1403
	1	3249	2362	1149	2253	
	2	224	243	351	273	
	3	880	573	411	621	
	4	572	618	6044	2411	
	5	520	273	531	441	
25	0	5951	3409	7329	5563	2543
	1	1851	3399	5232	3494	
	2	1263	505	4934	2234	
	3	646	652	1472	923	
	4	464	394	1011	623	
	5	5392	964	898	2418	

Continuação

SÓLIDOS TOTAIS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
26	0	3390	4526	392	2769	1537
	1	3195	1224	2472	2297	
	2	1078	1012	1489	1193	
	3	622	496	2345	1154	
	4	666	338	1976	993	
	5	410	582	1448	813	
27	0	4845	2190	4322	3786	2466
	1	4605	4444	2629	3893	
	2	1666	823	3876	2122	
	3	1578	933	3819	2110	
	4	869	3221	1060	1717	
	5	318	2041	1141	1167	
28	0	1892	3766	8062	4573	2516
	1	7709	1564	1167	3480	
	2	8695	1181	293	3390	
	3	2052	1100	507	1220	
	4	1082	1071	880	1011	
	5	696	722	2852	1423	
29	0	5013	9538	5408	6653	3288
	1	9574	5159	3895	6209	
	2	3876	4645	5386	4636	
	3	3883	207	220	1437	
	4	399	806	263	489	
	5	377	253	275	302	
<b>MÉDIA</b>						979

SÓLIDOS TOTAIS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
26	0	4201	9250	1939	5130	2426
	1	1267	5351	3513	3377	
	2	2866	2583	1639	2363	
	3	1507	978	1956	1480	
	4	894	1162	1710	1255	
	5	364	1322	1172	953	
27	0	1550	3855	1828	2411	2669
	1	4139	1628	5801	3856	
	2	301	7885	3098	3761	
	3	262	2382	2866	1837	
	4	522	2044	1313	1293	
	5	356	7384	836	2859	
28	0	6674	8463	1669	5602	2974
	1	3334	2362	9401	5032	
	2	1275	1070	7331	3225	
	3	828	1001	3163	1664	
	4	644	959	1852	1152	
	5	385	1138	1987	1170	
<b>MÉDIA</b>						930

SÓLIDOS SUSPENSOS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
0		L				
1	0 min	247	228	130	202	63
	1 min	47	130	70	82	
	2 min	15	20	35	23	
	3 min	28	12	23	21	
	4 min	38	6	58	34	
2	5 min	21	9	12	14	53
	0 min	13	186	180	126	
	1 min	42	174	165	127	
	2 min	17	26	28	24	
	3 min	10	20	21	17	
3	4 min	23	12	15	17	67
	5 min	4	13	12	10	
	0 min	200	310	120	210	
	1 min	25	92	21	46	
	2 min	143	13	19	58	
4	3 min	12	9	24	15	54
	4 min	127	6	10	48	
	5 min	53	8	6	22	
	0 min	438	104	14	185	
	1 min	38	68	53	53	
5	2 min	14	24	68	35	82
	3 min	52	42	10	35	
	4 min	11	41		17	
	5 min				0	
	0 min	530	215		373	
5	1 min	34	8		21	82
	2 min	33	22		28	
	3 min	19	25		22	
	4 min	35	40		38	
	5 min	17	7		12	

SÓLIDOS SUSPENSOS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
0		L				
1	0 min	8	2	11	7	88
	1 min	57	56	15	43	
	2 min	54	112	121	96	
	3 min	236	145	165	182	
	4 min	95	128	191	138	
2	5 min	45	83	62	63	135
	0 min	160	63	10	78	
	1 min	341	73	763	392	
	2 min	31	167	370	189	
	3 min	38	59	76	58	
3	4 min	16	31	52	33	101
	5 min	11	137	34	61	
	0 min	320	199	25	181	
	1 min	55	96	730	294	
	2 min	23	22	175	73	
4	3 min	13	8	36	19	107
	4 min	8	16	30	18	
	5 min	6	12	42	20	
	0 min	515	764	192	490	
	1 min	22	74	105	67	
5	2 min	11	31	46	29	144
	3 min	28	19	26	24	
	4 min	37	11	14	21	
	5 min	12	8	16	12	
	0 min	1205	692	14	637	
5	1 min	53	83	302	146	144
	2 min	15	37	39	30	
	3 min	40	14	16	23	
	4 min	14	18	7	13	
	5 min	13	18	10	14	



Continuação

SÓLIDOS SUSPENSOS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
6	0 min				0	
	1 min				0	
	2 min				0	
	3 min				0	
	4 min				0	
	5 min				0	
7	0 min				0	
	1 min				0	
	2 min				0	
	3 min				0	
	4 min				0	
	5 min				0	
8	0 min	220	356	380	319	84
	1 min	26	190	210	142	
	2 min	10	20	10	13	
	3 min	6	11	7	8	
	4 min	11	10	10	10	
	5 min	10	8	20	13	
9	0 min	532	9	20	187	43
	1 min	26	8	19	18	
	2 min	16	21	29	22	
	3 min	10	23	11	15	
	4 min	9	12	15	12	
	5 min	7	8	6	7	
10	0 min				0	
	1 min				0	
	2 min				0	
	3 min				0	
	4 min				0	
	5 min				0	

SÓLIDOS SUSPENSOS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
6	0 min	610	308	1480	799	155
	1 min	53	38	27	39	
	2 min	20	35	23	26	
	3 min	10	15	24	16	
	4 min	55	12	23	30	
	5 min	35	18	9	21	
7	0 min	1214	604	17	612	145
	1 min	27	64	302	131	
	2 min	16	17	23	19	
	3 min	11	17	18	15	
	4 min	56	14	11	27	
	5 min	177	18	12	69	
8	0 min	972	325	22	440	103
	1 min	30	49	239	106	
	2 min	11	16	43	23	
	3 min	15	13	11	13	
	4 min	27	5	16	16	
	5 min	44	6	6	19	
9	0 min	439	528	384	450	101
	1 min	23	42	40	35	
	2 min	29	26	12	22	
	3 min	42	59	29	43	
	4 min	76	12	24	37	
	5 min	23	9	18	17	
10	0 min	510	81	411	334	74
	1 min	31	16	40	29	
	2 min	29	15	23	22	
	3 min	9	18	39	22	
	4 min	7	41	18	22	
	5 min	5	17	16	13	

Continuação

SÓLIDOS SUSPENSOS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
11	0 min	482	144	48	225	53
	1 min	37	28	16	27	
	2 min	14	10	15	13	
	3 min	43	10	10	21	
	4 min	44	9	9	21	
	5 min	16	4	22	14	
12	0 min	492	310	218	340	71
	1 min	19	30	34	28	
	2 min	58	16	9	28	
	3 min	13	13	8	11	
	4 min	9	11	6	9	
	5 min	25	6	7	13	
13	0 min	400	345	208	318	71
	1 min	71	16	14	34	
	2 min	99	22	10	44	
	3 min	9	7	24	13	
	4 min	11	8	9	9	
	5 min	5	15	6	9	
14	0 min	494	259	263	339	66
	1 min	21	21	14	19	
	2 min	8	10	12	10	
	3 min	13	9	12	11	
	4 min	6	13	13	11	
	5 min	5	6	3	5	
15	0 min	596	396	102	365	72
	1 min	13	15	10	13	
	2 min	11	32	9	17	
	3 min	28	8	3	13	
	4 min	15	21	2	13	
	5 min	26	9	6	14	

SÓLIDOS SUSPENSOS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
11	0 min	84	736	24	281	96
	1 min	161	38	37	79	
	2 min	49	6	10	22	
	3 min	386	10	9	135	
	4 min	143	4	9	52	
	5 min	5	11	5	7	
12	0 min	176	134	1030	447	118
	1 min	167	73	34	91	
	2 min	197	30	9	79	
	3 min	21	16	11	16	
	4 min	163	15	5	61	
	5 min	8	17	14	13	
13	0 min	495	204	526	408	125
	1 min	120	111	240	157	
	2 min	70	120	170	120	
	3 min	7	70	52	43	
	4 min	4	10	16	10	
	5 min	20	7	10	12	
14	0 min	800	430	500	577	128
	1 min	130	160	139	143	
	2 min	12	19	23	18	
	3 min	6	12	9	9	
	4 min	2	14	17	11	
	5 min	9	8	11	9	
15	0 min	488	258	400	382	142
	1 min	315	230	620	388	
	2 min	155	15	8	59	
	3 min	11	9	5	8	
	4 min	5	8	10	8	
	5 min	4	6	6	5	

Continuação

SÓLIDOS SUSPENSOS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
16	0 min	180	485	296	320	69
	1 min	36	31	15	27	
	2 min	74	11	12	32	
	3 min	7	9	15	10	
	4 min	7	10	17	11	
	5 min	14	6	11	10	
17	0 min	109	480	980	523	109
	1 min	80	4	34	39	
	2 min	92	8	30	43	
	3 min	7	10	17	11	
	4 min	23	23	14	20	
	5 min	5	5	32	14	
18	0 min	646	614	436	565	113
	1 min	173	15	17	68	
	2 min	10	13	12	12	
	3 min	47	10	12	23	
	4 min	6	6	6	6	
	5 min	5	10	4	6	
19	0 min	120	998	920	679	122
	1 min	28	11	11	17	
	2 min	15	7	14	12	
	3 min	7	15	11	11	
	4 min	5	6	5	5	
	5 min	4	6	4	5	
20	0 min	1244	608	940	931	172
	1 min	38	13	13	21	
	2 min	115	12	9	45	
	3 min	6	39	7	17	
	4 min	15	8	14	12	
	5 min	7	8	6	7	

SÓLIDOS SUSPENSOS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
16	0 min	1028	237	6	424	124
	1 min	281	35	61	126	
	2 min	412	70	32	171	
	3 min	10	18	4	11	
	4 min	2	5	4	4	
	5 min	2	4	16	7	
17	0 min	1465	636	504	868	164
	1 min	34	30	51	38	
	2 min	60	23	19	34	
	3 min	2	17	26	15	
	4 min	5	34	14	18	
	5 min	5	13	5	8	
18	0 min	1160	802	130	697	133
	1 min	101	20	36	52	
	2 min	25	12	10	16	
	3 min	8	16	6	10	
	4 min	5	13	7	8	
	5 min	14	6	18	13	
19	0 min	842	612	95	516	111
	1 min	51	41	101	64	
	2 min	17	9	156	61	
	3 min	11	5	27	14	
	4 min	7	5	3	5	
	5 min	12	5	4	7	
20	0 min	138	780	109	342	120
	1 min	481	198	30	236	
	2 min	194	34	19	82	
	3 min	57	7	8	24	
	4 min	53	8	8	23	
	5 min	25	5	6	12	

Continuação

SÓLIDOS SUSPENSOS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
21	0 min	814	1465	978	1086	199
	1 min	29	164	14	69	
	2 min	18	31	10	20	
	3 min	7	5	7	6	
	4 min	7	15	5	9	
	5 min	6	6	8	7	
22	0 min	622	1010	470	701	202
	1 min	920	270	21	404	
	2 min	18	12	13	14	
	3 min	14	13	4	10	
	4 min	175	9	3	62	
	5 min	6	52	1	20	
23	0 min	1195	870	480	848	242
	1 min	778	208	166	384	
	2 min	65	55	78	66	
	3 min	10	42	52	35	
	4 min	11	27	91	43	
	5 min	113	37	85	78	
24	0 min	90	1715	2275	1360	326
	1 min	264	33	210	169	
	2 min	73	9	10	31	
	3 min	984	28	23	345	
	4 min	23	14	4	14	
	5 min	78	25	6	36	
25	0 min	55	1620	1880	1185	405
	1 min	2314	157	27	833	
	2 min	345	12	51	136	
	3 min	101	66	8	58	
	4 min	66	12	5	28	
	5 min	541	19	8	189	

SÓLIDOS SUSPENSOS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
21	0 min	70	2330	38	813	235
	1 min	972	154	41	389	
	2 min	102	70	39	70	
	3 min	42	15	9	22	
	4 min	127	10	9	49	
	5 min	179	10	7	65	
22	0 min	175	598	284	352	347
	1 min	189	2550	513	1084	
	2 min	20	598	469	362	
	3 min	10	452	33	165	
	4 min	7	23	24	18	
	5 min	13	275	17	102	
23	0 min	1570	1220	1326	1372	515
	1 min	40	898	220	386	
	2 min	15	620	650	428	
	3 min	50	832	256	379	
	4 min	4	728	191	308	
	5 min	5	166	473	215	
24	0 min	192	5500	414	2035	548
	1 min	1598	1200	310	1036	
	2 min	52	93	124	90	
	3 min	10	66	216	97	
	4 min	10	35	24	23	
	5 min	8	7	12	9	
25	0 min	2570	2195	2055	2273	688
	1 min	752	1380	217	783	
	2 min	218	63	460	247	
	3 min	75	238	736	350	
	4 min	11	24	618	218	
	5 min	24	328	426	259	

Continuação

SÓLIDOS SUSPENSOS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
26	0 min	1640	1640	2785	2022	547
	1 min	1410	41	77	509	
	2 min	537	40	128	235	
	3 min	525	11	127	221	
	4 min	340	21	176	179	
	5 min	312	16	18	115	
27	0 min	630	2620	1935	1728	531
	1 min	1345	890	295	843	
	2 min	530	466	140	379	
	3 min	211	160	22	131	
	4 min	180	15	7	67	
	5 min	88	9	7	35	
28	0 min	378	1420	2560	1453	665
	1 min	1970	419	72	820	
	2 min	2510	76	105	897	
	3 min	387	592	133	371	
	4 min	304	396	13	238	
	5 min	317	302	11	210	
29	0 min	413	4870	32	1772	1073
	1 min	6720	38	95	2284	
	2 min	808	92	114	1318	
	3 min	323	1530	62	638	
	4 min	3345	576	34	338	
	5 min	161	77	26	88	
<b>MÉDIA</b>						214

SÓLIDOS SUSPENSOS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
26	0 min	2815	2285	342	1814	867
	1 min	40	2560	1435	1345	
	2 min	34	1045	810	630	
	3 min	21	457	1022	500	
	4 min	11	686	912	536	
	5 min	7	788	331	375	
27	0 min	1490	1650	1537	1559	990
	1 min	1790	1155	1700	1548	
	2 min	135	1450	1830	1138	
	3 min	117	745	1945	936	
	4 min	56	688	480	408	
	5 min	24	556	470	350	
28	0 min	2015	2055	2271	2114	1027
	1 min	1860	1588	1200	1549	
	2 min	2255	451	220	975	
	3 min	1725	237	70	677	
	4 min	695	102	50	282	
	5 min	965	724	10	566	
<b>MÉDIA</b>						273

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
0		L				
1	0 min	80	140	35	85	49
	1 min	30	100	80	70	
	2 min	25	11	180	72	
	3 min	18	2	60	27	
	4 min	24	< 0,5	40	32	
	5 min	6	2	15	8	
2	0 min	2,5	410	120	178	44
	1 min	25	25	100	50	
	2 min	7	1,5	15	8	
	3 min	4	1,3	10	5	
	4 min	13	4,5	< 0,5	9	
	5 min	< 0,5	24	3,5	14	
3	0 min	250	210	150	203	54
	1 min	12	60	13	28	
	2 min	20	1,5	7	10	
	3 min	120	0,8	11	44	
	4 min	70	0,5	3,5	25	
	5 min	35	2	1,5	13	
4	0 min	240	370	18	209	48
	1 min	20	35	33	29	
	2 min	30	15	45	30	
	3 min	35	3	< 0,5	19	
	4 min	2	2,2	0,5	2	
	5 min				0	
5	0 min	350	60		205	64
	1 min	20	35		28	
	2 min	17	5,5		11	
	3 min	1	11		6	
	4 min	5	260		133	
	5 min	5,2	1,5		3	

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
0		L			L	L
1	0 min	120	71	60	84	39
	1 min	45	69	75	63	
	2 min	25	53	40	39	
	3 min	20	32	20	24	
	4 min	30	31	3,5	22	
	5 min	< 0,5	< 0,5	1	1	
2	0 min	65	27	25	39	48
	1 min	70	35	270	125	
	2 min	10	85	160	85	
	3 min	5	30	31	22	
	4 min	2,5	10,5	20	11	
	5 min	2	8	10	7	
3	0 min	180	115	11	102	60
	1 min	25	63	435	174	
	2 min	5	15	130	50	
	3 min	2	4	25	10	
	4 min	0,7	12	23	12	
	5 min	0,5	5,5	32	13	
4	0 min	250	100	100	150	47
	1 min	120	50	65	78	
	2 min	25	20	30	25	
	3 min	15	10	15	13	
	4 min	23	< 0,5	2	13	
	5 min	7	1,5	7	5	
5	0 min	480	170	< 0,5	325	69
	1 min	25	40	110	58	
	2 min	6	5,3	15	9	
	3 min	20	2,5	25	16	
	4 min	2,5	3,5	1	2	
	5 min	4,5	5	7	6	

Continuação

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
6	0 min				0	
	1 min				0	
	2 min				0	
	3 min				0	
	4 min				0	
	5 min				0	
7	0 min				0	
	1 min				0	
	2 min				0	
	3 min				0	
	4 min				0	
	5 min				0	
8	0 min	370	140	280	263	67
	1 min	210	50	70	110	
	2 min	13	15	15	14	
	3 min	8	0,7	8	6	
	4 min	6	1,3	1,1	3	
	5 min	7,5	0,8	2,5	4	
9	0 min	270	210	160	213	48
	1 min	85	31	55	57	
	2 min	19	13	7,5	13	
	3 min	0,6	4	1,3	2	
	4 min	1	0,8	3	2	
	5 min	0,5	0,4	0,6	1	
10	0 min				0	
	1 min				0	
	2 min				0	
	3 min				0	
	4 min				0	
	5 min				0	

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
6	0 min	190	140	420	250	51
	1 min	36	20	50	35	
	2 min	1,4	22	5,5	10	
	3 min	1,5	5	10	6	
	4 min	5,2	0,7	7	4	
	5 min	1,5	5,5	0,7	3	
7	0 min	340	190	2,5	178	51
	1 min	9	22	240	90	
	2 min	2	2	3,5	3	
	3 min	1	1	0,9	1	
	4 min	25	1,5	2	10	
	5 min	78	3	2,3	28	
8	0 min	330	110	1,5	147	33
	1 min	9	16	80	35	
	2 min	2	2,5	20	8	
	3 min	2,5	0,6	2	2	
	4 min	5,2	<0,5	0,6	3	
	5 min	1,6	0,5	0,5	1	
9	0 min	150	180	130	153	32
	1 min	7	12	8	9	
	2 min	15	4,5	2,5	7	
	3 min	10	20	5	12	
	4 min	30	1	2	11	
	5 min	1,5	0,7	1	1	
10	0 min	170	28	130	109	22
	1 min	7,5	2,5	7	6	
	2 min	6	2	3,5	4	
	3 min	1	5	10	5	
	4 min	0,5	13	1,3	5	
	5 min	0,4		3	2	

Continuação

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
11	0 min	220	350	190	253	50
	1 min	10	10	15	12	
	2 min	25	0,8	3	10	
	3 min	20	0,6	<0,5	10	
	4 min	20	1,6	<0,5	11	
	5 min	3,5	0,5	3	2	
12	0 min	170	150	200	173	38
	1 min	25	40	60	42	
	2 min	13	2	10	8	
	3 min	1,3	0,5	0,6	1	
	4 min	0,8	1,7	0,6	1	
	5 min	3	0,3	0,5	1	
13	0 min	140	190	180	170	33
	1 min	23	3	1,7	9	
	2 min	43	8	1	17	
	3 min	0,9	1,2	4	2	
	4 min	0,7	1	0,7	1	
	5 min	0,7	1,4	0,2	1	
14	0 min	310	120	100	177	31
	1 min	3	4,5	1,7	3	
	2 min	1,5	1,5	0,6	1	
	3 min	0,5	2	1,5	1	
	4 min	1	2,5	0,5	1	
	5 min	0,6	0,7	1	1	
15	0 min	350	220	23	198	36
	1 min	2,8	4	0,6	2	
	2 min	1,8	16	0,6	6	
	3 min	5,5	1,3	<0,5	3	
	4 min	3,5	3,5	0,6	3	
	5 min	8	1,2	0,5	3	

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
11	0 min	36	190	3	76	30
	1 min	70	10	9	30	
	2 min	16	0,7	1,4	6	
	3 min	130	1	3	45	
	4 min	65	0,3	0,5	22	
	5 min	0,7	0,5	0,3	1	
12	0 min	80	55	450	195	51
	1 min	90	30	15	45	
	2 min	88	5,5	0,5	31	
	3 min	5,2	3	0,6	3	
	4 min	78	3	1	27	
	5 min	2,5	5,2	1,5	3	
13	0 min	130	32	8	57	13
	1 min	3,5	2	3,5	3	
	2 min	2,5	1,5	19	8	
	3 min	0,6	0,5	13	5	
	4 min	0,5	1,4	1,4	1	
	5 min	5	<0,5	1	3	
14	0 min	50	42	1,7	31	9
	1 min	2	1,4	52	18	
	2 min	1,3	1	7	3	
	3 min	0,8	0,5	2,2	1	
	4 min	1,6	1,3	1,5	1	
	5 min	0,7	0,3	1	1	
15	0 min	170	80	1,8	84	28
	1 min	110	51	16	59	
	2 min	63	3	1	22	
	3 min	2	1,5	0,9	1	
	4 min	1	0,9	1	1	
	5 min	1	1	1	1	



Continuação

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
16	0 min	150	240	110	167	32
	1 min	30	10	4	15	
	2 min	21	1,4	1	8	
	3 min	1	1,2	1,8	1	
	4 min	2	1,7	2	2	
	5 min	3,5	1,1	1,5	2	
17	0 min	29	11	270	103	37
	1 min	130	1	5	45	
	2 min	30	2	1,5	11	
	3 min	0,8	2,5	3,5	2	
	4 min	4	4	2	3	
	5 min	0,9	155	6	54	
18	0 min	170	200	180	183	38
	1 min	70	4	4	26	
	2 min	20	2	2,5	8	
	3 min	17	1	2	7	
	4 min	0,7	0,5	1	1	
	5 min	0,6	1,5	1	1	
19	0 min	260	390	2,5	218	38
	1 min	5	2	3	3	
	2 min	3	0,4	3	2	
	3 min	0,8	1	4,5	2	
	4 min	0,5	1	<0,5	1	
	5 min	0,7	0,9	<0,5	1	
20	0 min	480	130	290	300	57
	1 min	65	3	5	24	
	2 min	30	2	1,7	11	
	3 min	0,8	6	1,5	3	
	4 min	2	1,5	1,9	2	
	5 min	0,6	1,8	0,5	1	

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
16	0 min	280	35	2	106	23
	1 min	6	2,5	15	8	
	2 min	50	3,5	7,5	20	
	3 min	1,2	0,8	2	1	
	4 min	1,5	1,3	1	1	
	5 min	1	1,5	2,5	2	
17	0 min	600	250	180	343	61
	1 min	9	5,5	12	9	
	2 min	10,3	5,5	2,5	6	
	3 min	3	3,2	3,75	3	
	4 min	0,6	9	2,5	4	
	5 min	0,9	2	1	1	
18	0 min	400	320	2,5	241	44
	1 min	40	4,5	5,1	17	
	2 min	0,65	2,5	0,8	1	
	3 min	6	2	1	3	
	4 min	0,65	4	1	2	
	5 min	2,5	1	3	2	
19	0 min	150	200	25	125	29
	1 min	7	12	42	20	
	2 min	3	1,5	65	23	
	3 min	1,3	0,5	4,5	2	
	4 min	1,4	0,7	<0,5	1	
	5 min	2,5	<0,5	0,5	2	
20	0 min	37	210	30	92	37
	1 min	250	43	3	99	
	2 min	50	5,5	1,75	19	
	3 min	12	<0,5	0,5	6	
	4 min	11	<0,5	0,9	6	
	5 min	4,5	<0,5	0,2	2	

Continuação

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
21	0 min	240	420	330	330	59
	1 min	5,3	38	2,3	15	
	2 min	3,5	5,5	1,3	3	
	3 min	1,5	1	1,2	1	
	4 min	0,6	2	1,3	1	
	5 min	0,8	0,6	1	1	
22	0 min	210	280	370	287	60
	1 min	70	55	27	51	
	2 min	15	13	13	14	
	3 min	10,5	2,4	0,5	4	
	4 min	1	0,8	0,7	1	
	5 min	1	8	1,1	3	
23	0 min	92	710	560	454	97
	1 min	152	50	50	84	
	2 min	24	13	17	18	
	3 min	1,5	8	10	7	
	4 min	1,2	4,5	23	10	
	5 min	3,5	8	22	11	
24	0 min	220	360	450	343	98
	1 min	89	55	50	65	
	2 min	180	10	20	70	
	3 min	300	3	7	103	
	4 min	2	0,7	0,7	1	
	5 min	20	3	1	8	
25	0 min	18	590	390	333	103
	1 min	520	30	2	184	
	2 min	120	0,9	7	43	
	3 min	20	8,5	0,6	10	
	4 min	12	0,6	0,5	4	
	5 min	130	1,2	0,3	44	

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
21	0 min	15	440	10	155	49
	1 min	230	42	6	93	
	2 min	30	20	10	20	
	3 min	7	3,5	0,5	4	
	4 min	32	1,5	0,7	11	
	5 min	40	1,5	0,6	14	
22	0 min	35	50	63	49	48
	1 min	45	290	79	138	
	2 min	1,5	130	42	58	
	3 min	1,2	60	3,5	22	
	4 min	0,7	5,2	1,5	2	
	5 min	2,4	60	1,5	21	
23	0 min	200	210	100	170	105
	1 min	8	130	220	119	
	2 min	2	210	190	134	
	3 min	13	160	72	82	
	4 min	5	160	68	78	
	5 min	5	35	100	47	
24	0 min	250	570	440	420	114
	1 min	260	240	100	200	
	2 min	8	19	75	34	
	3 min	1	6	50	19	
	4 min	0,9	15	4	7	
	5 min	1,2	1	2,5	2	
25	0 min	250	300	28	193	144
	1 min	190	360	400	317	
	2 min	60	8,5	440	170	
	3 min	5,5	60	150	72	
	4 min	1,4	4	140	48	
	5 min	3	100	100	68	

Continuação

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
26	0 min	350	345	430	375	113
	1 min	205	153	230	196	
	2 min	70	4	29	34	
	3 min	60	1,5	24	29	
	4 min	45	0,7	35	27	
	5 min	48	1,5	2	17	
27	0 min	190	590	410	397	142
	1 min	400	220	540	387	
	2 min	30	35	35	33	
	3 min	43	1,4	6	17	
	4 min	40	2	0,6	14	
	5 min	15	1	1,2	6	
28	0 min	25	400	460	295	151
	1 min	400	120	12,5	178	
	2 min	550	16	27,5	198	
	3 min	130	150	29	103	
	4 min	90	100	3,5	65	
	5 min	69	70	<0,5	70	
29	0 min	52	550	17	206	205
	1 min	930	800	20	583	
	2 min	600	17	20	212	
	3 min	125	150	20	98	
	4 min	245	5,75	24	92	
	5 min	60	33	18	37	
<b>MÉDIA</b>						69

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
26	0 min	250	600	50	300	168
	1 min	5,2	400	300	235	
	2 min	6	300	150	152	
	3 min	4,5	100	250	118	
	4 min	1,5	160	80	81	
	5 min	0,6	170	200	124	
27	0 min	1,5	350	75	142	185
	1 min	400	230	370	333	
	2 min	25	210	140	125	
	3 min	28	230	140	133	
	4 min	11	190	340	180	
	5 min	4	130	460	198	
28	0 min	480	550	600	543	215
	1 min	36	250	420	235	
	2 min	4,5	90	500	198	
	3 min	1,9	60	290	117	
	4 min	0,6	150	210	120	
	5 min	2	26	190	73	
<b>MÉDIA</b>						65

SÓLIDOS TOTAIS - S.A			
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA
0		L	
1	0	260	340
	5	376	
	10	611	
	15	231	
	20	221	
2	0	418	610
	5	462	
	10	509	
	15	969	
	20	694	
3	0	535	595
	5	618	
	10	753	
	15	571	
	20	500	
4	0	453	613
	5	629	
	10	899	
	15	840	
	20	246	
5	0	1215	1176
	5	1737	
	10	1400	
	15	1296	
	20	230	

SÓLIDOS TOTAIS - S.A			
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA
6	0	696	1269
	5	2005	
	10	1500	
	15	1251	
	20	892	
7	0	1182	1161
	5	2121	
	10	1259	
	15	718	
	20	527	
8	0	1441	1185
	5	2048	
	10	1390	
	15	590	
	20	457	
9	0	3331	1203
	5	1370	
	10	642	
	15	389	
	20	281	
10	0	1381	1263
	5	1930	
	10	1044	
	15	991	
	20	968	

SÓLIDOS TOTAIS - S.A			
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA
11	0	720	1253
	5	1357	
	10	1776	
	15	1241	
	20	1172	
12	0	3597	1350
	5	1557	
	10	409	
	15	774	
	20	411	
13	0	1181	1232
	5	1980	
	10	1157	
	15	1260	
	20	583	
14	0	2723	1231
	5	1454	
	10	1486	
	15	338	
	20	152	
15	0	1815	1053
	5	1115	
	10	968	
	15	733	
	20	634	

Continuação

SÓLIDOS TOTAIS - S.A			
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA
	(min.)	1673	
16	5	1251	1027
	10	954	
	15	723	
	20	534	
17	0	1674	1108
	5	1456	
	10	1518	
	15	421	
	20	470	
18	0	1908	1170
	5	1545	
	10	1191	
	15	823	
	20	383	
19	0	1219	1072
	5	1359	
	10	887	
	15	723	
	20	1171	
20	0	1584	1119
	5	1484	
	10	1162	
	15	872	
	20	494	

SÓLIDOS TOTAIS - S.A			
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA
	(min.)	1815	
21	5	1663	1240
	10	1315	
	15	873	
	20	535	
22	0	2001	1254
	5	1527	
	10	1218	
	15	614	
	20	911	
23	0	1242	1263
	5	1318	
	10	1684	
	15	1079	
	20	990	
24	0	1335	1299
	5	1609	
	10	1311	
	15	1194	
	20	1047	
25	0	2688	1690
	5	1878	
	10	1785	
	15	1224	
	20	873	

SÓLIDOS TOTAIS - S.A			
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA
	(min.)	3776	
26	5	1679	1771
	10	1009	
	15	781	
	20	1610	
27	0	3744	2159
	5	2699	
	10	2440	
	15	1099	
	20	815	
28	0	4021	2534
	5	3028	
	10	2417	
	15	1782	
	20	1424	
<b>MÉDIA</b>			1223

SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS - S.A			
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA
0		L	
1	0 min	47	63
	5 min	239	
	10 min	10	
	15 min	11	
	20 min	8	
2	0 min	35	116
	5 min	160	
	10 min	147	
	15 min	135	
	20 min	101	
3	0 min	194	116
	5 min	112	
	10 min	103	
	15 min	93	
	20 min	78	
4	0 min	156	141
	5 min	183	
	10 min	135	
	15 min	139	
	20 min	93	
5	0 min	187	334
	5 min	1037	
	10 min	254	
	15 min	150	
	20 min	42	

SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS - S.A			
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA
6	0 min	195	461
	5 min	1070	
	10 min	397	
	15 min	349	
	20 min	294	
7	0 min	247	429
	5 min	840	
	10 min	582	
	15 min	213	
	20 min	263	
8	0 min	472	498
	5 min	1064	
	10 min	380	
	15 min	350	
	20 min	223	
9	0 min	1170	469
	5 min	554	
	10 min	359	
	15 min	160	
	20 min	102	
10	0 min	1444	500
	5 min	650	
	10 min	229	
	15 min	110	
	20 min	65	

SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS - S.A			
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA
11	0 min	1521	482
	5 min	636	
	10 min	125	
	15 min	79	
	20 min	47	
12	0 min	1330	439
	5 min	574	
	10 min	149	
	15 min	67	
	20 min	74	
13	0 min	1341	406
	5 min	491	
	10 min	125	
	15 min	50	
	20 min	23	
14	0 min	1428	412
	5 min	494	
	10 min	66	
	15 min	44	
	20 min	26	
15	0 min	1001	320
	5 min	376	
	10 min	93	
	15 min	85	
	20 min	44	

Continuação

SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS - S.A			
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA
16	0 min	1000	317
	5 min	396	
	10 min	127	
	15 min	37	
	20 min	24	
17	0 min	1078	373
	5 min	448	
	10 min	153	
	15 min	109	
	20 min	78	
18	0 min	1008	384
	5 min	594	
	10 min	174	
	15 min	82	
	20 min	60	
19	0 min	819	343
	5 min	637	
	10 min	161	
	15 min	49	
	20 min	47	
20	0 min	842	263
	5 min	360	
	10 min	49	
	15 min	42	
	20 min	22	

SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS - S.A			
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA
21	0 min	573	289
	5 min	651	
	10 min	148	
	15 min	45	
	20 min	28	
22	0 min	650	326
	5 min	420	
	10 min	259	
	15 min	185	
	20 min	115	
23	0 min	922	296
	5 min	357	
	10 min	126	
	15 min	45	
	20 min	28	
24	0 min	648	429
	5 min	538	
	10 min	467	
	15 min	326	
	20 min	164	
25	0 min	215	541
	5 min	806	
	10 min	670	
	15 min	553	
	20 min	463	

SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS - S.A			
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA
26	0 min	1555	769
	5 min	774	
	10 min	473	
	15 min	522	
	20 min	523	
27	0 min	3185	1315
	5 min	1870	
	10 min	585	
	15 min	530	
	20 min	405	
28	0 min	4424	1522
	5 min	2020	
	10 min	425	
	15 min	330	
	20 min	411	
<b>MÉDIA</b>			441

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - S.A			
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA
0		L	
1	0 min	63	18
	5 min	15	
	10 min	5	
	15 min	5	
	20 min	3	
2	0 min	52	76
	5 min	90	
	10 min	94	
	15 min	85	
	20 min	60	
3	0 min	75	81
	5 min	105	
	10 min	94	
	15 min	70	
	20 min	60	
4	0 min	50	88
	5 min	94	
	10 min	125	
	15 min	83	
	20 min	90	
5	0 min	61	85
	5 min	98	
	10 min	125	
	15 min	78	
	20 min	63	

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - S.A			
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA
6	0 min	65	88
	5 min	134	
	10 min	161	
	15 min	44	
	20 min	38	
7	0 min	191	97
	5 min	172	
	10 min	58	
	15 min	44	
	20 min	18	
8	0 min	103	102
	5 min	145	
	10 min	129	
	15 min	70	
	20 min	65	
9	0 min	168	105
	5 min	124	
	10 min	104	
	15 min	78	
	20 min	49	
10	0 min	80	103
	5 min	250	
	10 min	58	
	15 min	100	
	20 min	25	

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - S.A			
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA
11	0 min	100	85
	5 min	200	
	10 min	70	
	15 min	40	
	20 min	15	
12	0 min	23	56
	5 min	35	
	10 min	50	
	15 min	135	
	20 min	36	
13	0 min	98	52
	5 min	110	
	10 min	38	
	15 min	10	
	20 min	5	
14	0 min	125	72
	5 min	190	
	10 min	25	
	15 min	11	
	20 min	9	
15	0 min	300	91
	5 min	90	
	10 min	35	
	15 min	17	
	20 min	12	



Continuação

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - S.A				SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - S.A				SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - S.A			
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA	DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA	DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA
16	0 min	350	107	21	0 min	150	63	26	0 min	470	243
	5 min	125			5 min	130			5 min	250	
	10 min	40			10 min	21			10 min	260	
	15 min	17			15 min	11			15 min	140	
	20 min	5			20 min	3,5			20 min	95	
17	0 min	430	149	22	0 min	260	93	27	0 min	470	262
	5 min	210			5 min	80			5 min	285	
	10 min	60			10 min	50			10 min	280	
	15 min	32			15 min	45			15 min	175	
	20 min	14			20 min	30			20 min	100	
18	0 min	350	129	23	0 min	150	61	28	0 min	389	230
	5 min	190			5 min	100			5 min	360	
	10 min	56			10 min	42			10 min	237	
	15 min	30			15 min	10			15 min	128	
	20 min	18			20 min	3,5			20 min	34	
19	0 min	140	58	24	0 min	120	75	<b>MÉDIA</b>			
	5 min	100			5 min	110					
	10 min	25			10 min	72					
	15 min	15			15 min	42					
	20 min	10			20 min	30					
20	0 min	160	56	25	0 min	20	110				
	5 min	93			5 min	210					
	10 min	13			10 min	120					
	15 min	9			15 min	120					
	20 min	3,3			20 min	82					

### APÊNDICE E - Resultados da avaliação da eficiência dos decantadores 1 e 2: Turbidez, Cor e Sólidos Suspensos

TURBIDEZ						
DIA	AFL - D1	D1	Eficiência (%)	AFL - D2	D2	Eficiência (%)
1	11	2,00	81,82	11	3,00	72,73
2	5	2,00	60,00	6	2,00	66,67
3	6	2,00	66,67	11	3,00	72,73
4	6	2,00	66,67	13	3,00	76,92
5	7	3,00	57,14	9	3,00	66,67
6	6	3,00	50,00	7	2,00	71,43
7	6	3,00	50,00	6	2,00	66,67
8	8	2,00	76,11	7	3,01	55,47
9	6	1,90	68,80	6	2,75	55,79
10	6	1,80	69,13	6	1,64	72,53
11	7	2,00	70,63	7	2,88	58,26
12	7	2,60	62,86	6	1,88	67,47
13	6	1,32	78,71	6	2,19	63,07
14	3	1,19	53,70	6	2,28	59,36
15	6	2,04	65,19	6	2,06	63,08
16	6	2,00	66,67	8	3,00	62,50
17	7	3,00	57,14	7	3,00	57,14
18	6	2,50	58,88	7	3,00	57,14
19	7	2,70	58,65	6	2,66	58,24
20	6	3,00	50,90	7	3,20	55,62
21	7	3,00	57,92	7	4,00	39,94
22	6	4,00	33,88	7	4,75	28,46
<b>MÉDIA</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>62</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>61</b>

COR						
DIA	AFL - D1	D1	Eficiência (%)	AFL - D2	D2	Eficiência (%)
1	74	10	86	73	9	88
2	77	11	86	78	10	87
3	70	11	84	63	13	79
4	65	13	80	69	18	74
5	69	17	75	71	16	77
6	73	26	64	84	21	75
7	85	24	72	100	29	71
8	105	26	75	90	32	64
9	90	25	72	96	35	64
10	84	30	64	92	35	62
11	75	26	65	93	33	65
12	43	18	58	38	14	63
13	64	19	70	47	17	64
14	55	22	60	56	23	59
15	66	25	62	72	30	58
16	68	28	59	74	32	57
17	73	31	58	77	31	60
18	79	30	62	78	35	55
19	78	32	59	80	51	36
20	84	34	60	88	55	38
21	84	36	57	68	56	18
22	60	40	33	82	60	27
<b>MÉDIA</b>	<b>74</b>	<b>24</b>	<b>67</b>	<b>76</b>	<b>30</b>	<b>61</b>

Continuação

<b>SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS</b>						
<b>DIA</b>	<b>AFL - D1</b>	<b>D1</b>	<b>Eficiência (%)</b>	<b>AFL - D2</b>	<b>D2</b>	<b>Eficiência (%)</b>
1	9	4	56	9	4	56
2	14	6	57	15	8	47
3	12	3	75	13	5	62
4	5	1	80	11	1	91
5	7	1	86	10	1	90
6	8	1	88	7	1	86
7	12	2	83	9	1	89
8	5	1	80	4	1	75
9	3	1	67	7	1	86
10	15	7	53	16	8	50
11	9	4	56	6	2	67
12	7	2	71	11	2	82
13	6	2	67	4	2	50
14	7	2	71	7	3	57
15	5	1	80	3	1	67
16	5	2	60	5	3	40
17	6	3	50	8	3	63
18	8	4	50	8	4	50
19	8	5	38	13	6	54
20	12	8	33	13	9	31
21	12	9	25	10	9	10
22	8	10	-25	11	10	9
<b>MÉDIA</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>59</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>59</b>

**APÊNDICE F - Resultados da caracterização dos lodos dos decantadores 1 e 2: Sólidos Totais, Sólidos Suspensos e Sólidos Sedimentáveis**

SÓLIDOS TOTAIS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
0		L				
5	0	235	2152	793	1060	596
	1	2096	302	255	884	
	2	908	182	319	470	
	3	573	177	202	317	
	4	255	279	334	289	
	5	427	76	1169	557	
10	0	251	2074	2019	1448	1325
	1	2642	836	96	1191	
	2	3268	316	574	1386	
	3	3201	353	403	1319	
	4	3222	532	482	1412	
	5	3290	186	112	1196	
15	0	2301	4677	3432	3470	1492
	1	2335	1504	1407	1749	
	2	2527	300	237	1021	
	3	1956	204	165	775	
	4	1236	198	212	549	
	5	1166	137	2866	1390	
20	0	819	8255	4192	4422	3273
	1	875	12168	492	4512	
	2	10945	5066	436	5482	
	3	2083	2400	226	1570	
	4	4446	2053	907	2469	
	5	3238	150	171	1186	
<b>MÉDIA</b>						1672

SÓLIDOS TOTAIS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
0		L				
5	0	1530	2760	1322	1871	660
	1	289	1446	191	642	
	2	146	289	319	251	
	3	225	266	721	404	
	4	488	410	66	321	
	5	1227	83	95	468	
10	0	298	2466	3918	2227	725
	1	1315	303	227	615	
	2	519	453	144	372	
	3	250	746	830	609	
	4	180	322	461	321	
	5	290	147	185	207	
15	0	608	4165	3751	2841	868
	1	779	434	791	668	
	2	492	280	372	381	
	3	1618	808	292	906	
	4	188	102	207	166	
	5	267	233	242	247	
20	0	1498	1466	2681	1882	2123
	1	4519	3376	4679	4191	
	2	3371	3925	2197	3164	
	3	1383	1409	1349	1380	
	4	1196	1986	861	1348	
	5	1146	896	269	770	
<b>MÉDIA</b>						1094

Continuação

SÓLIDOS SUSPENSOS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
0		L				
5	0 min	43	1435	840	773	238
	1 min	600	69	45	238	
	2 min	730	19	8	252	
	3 min	79	28	16	41	
	4 min	195	24	16	78	
	5 min	70	14	45	43	
10	0 min	71	2535	571	1059	686
	1 min	1250	565	38	618	
	2 min	2035	141	56	744	
	3 min	1605	39	144	596	
	4 min	1445	57	64	522	
	5 min	1410	306	16	577	
15	0 min	590	1725	2065	1460	817
	1 min	1725	222	130	692	
	2 min	2302	107	69	826	
	3 min	1925	52	47	675	
	4 min	1677	77	28	594	
	5 min	1908	19	35	654	
20	0 min	168	394	2735	1099	1096
	1 min	232	3295	1175	1567	
	2 min	2710	1668	860	1746	
	3 min	2165	892	473	1177	
	4 min	1460	110	135	568	
	5 min	1190	34	24	416	
<b>MÉDIA</b>						709

SÓLIDOS SUSPENSOS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
0		L				
5	0 min	85	816	1970	957	232
	1 min	698	145	112	318	
	2 min	127	37	64	76	
	3 min	16	13	12	14	
	4 min	15	5	8	9	
	5 min	25	9	12	15	
10	0 min	624	1587	810	1007	590
	1 min	934	1234	1183	1117	
	2 min	924	712	747	794	
	3 min	402	374	549	442	
	4 min	132	73	194	133	
	5 min	92	21	34	49	
15	0 min	1214	1730	1200	1381	698
	1 min	1056	1122	911	1030	
	2 min	725	841	538	701	
	3 min	637	541	639	606	
	4 min	542	229	204	325	
	5 min	225	45	173	148	
20	0 min	1415	1855	1280	1517	777
	1 min	1155	1578	1059	1264	
	2 min	731	1097	934	921	
	3 min	650	759	433	614	
	4 min	263	329	127	240	
	5 min	49	157	116	107	
<b>MÉDIA</b>						574

Continuação

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - D1						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
0		L				
5	0 min	13	520	300	278	101
	1 min	250	50	35	112	
	2 min	230	13	8	84	
	3 min	70	17	7,5	32	
	4 min	205	15	4,5	75	
	5 min	48	5	30	28	
10	0 min	50	910	850	603	292
	1 min	130	160	70	120	
	2 min	910	25	50	328	
	3 min	500	4,5	15	173	
	4 min	780	0,5	5	262	
	5 min	800	0,5	2	268	
15	0 min	260	880	830	657	320
	1 min	620	90	85	265	
	2 min	800	50	35	295	
	3 min	780	20	35	278	
	4 min	600	40	14	218	
	5 min	600	3	13	205	
20	0 min	30	900	400	443	335
	1 min	780	130	24	311	
	2 min	850	43	35	309	
	3 min	900	25	79	335	
	4 min	890	20	26	312	
	5 min	880	13	1,5	298	
<b>MÉDIA</b>						262

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - D2						
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	V1	V2	V3	MÉDIA	MÉDIA DA DESCARGA
0		L			L	L
5	0 min	30	680	300	337	93
	1 min	290	95	70	152	
	2 min	70	22	33	42	
	3 min	18	6,5	6,5	10	
	4 min	12	0,5	2	5	
	5 min	23	< 0,5	1,5	12	
10	0 min	300	800	300	467	115
	1 min	160	320	37	172	
	2 min	25	37	14	25	
	3 min	8	15	10	11	
	4 min	30	3,2	6	13	
	5 min	5	5	2,5	4	
15	0 min	38	960	780	593	118
	1 min	100	82	27	70	
	2 min	40	52	7	33	
	3 min	10	10	4,5	8	
	4 min	1,5	1	0,7	1	
	5 min	1,5	9	0,6	4	
20	0 min	700	790	720	737	138
	1 min	60	75	39	58	
	2 min	13	18	5,8	12	
	3 min	18	12	5,5	12	
	4 min	5	3,5	1	3	
	5 min	14	2,5	0,5	6	
<b>MÉDIA</b>						116

SÓLIDOS TOTAIS - S.A			
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA
0		L	
5	0	691	809
	5	2220	
	10	752	
	15	166	
	20	214	
10	0	2261	1962
	5	2947	
	10	2557	
	15	1155	
	20	890	
15	0	3797	2657
	5	3773	
	10	2377	
	15	1923	
	20	1413	
20	0	5838	4344
	5	6872	
	10	4963	
	15	2257	
	20	1788	
<b>MÉDIA</b>			2443

SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS - S.A			
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA
0		L	
5	0 min	250	171
	5 min	518	
	10 min	60	
	15 min	17	
	20 min	11	
10	0 min	1295	1101
	5 min	2065	
	10 min	1195	
	15 min	620	
	20 min	332	
15	0 min	1450	1482
	5 min	2115	
	10 min	1315	
	15 min	1310	
	20 min	1220	
20	0 min	1815	2011
	5 min	2570	
	10 min	2435	
	15 min	2069	
	20 min	1164	
<b>MÉDIA</b>			1191

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS - S.A			
DIA	TEMPO DE OPERAÇÃO (min.)	S.A - D2	MÉDIA DA DESCARGA
0		L	
5	0 min	250	114
	5 min	250	
	10 min	50	
	15 min	20	
	20 min	2	
10	0 min	720	370
	5 min	350	
	10 min	390	
	15 min	230	
	20 min	160	
15	0 min	720	512
	5 min	690	
	10 min	500	
	15 min	400	
	20 min	250	
20	0 min	740	722
	5 min	800	
	10 min	780	
	15 min	700	
	20 min	590	
<b>MÉDIA</b>			430