

# Processo de Tratamento Adotado nas Estações de Recuperação da Qualidade de Água de Barueri e ABC

HIDROSERVICE Engenharia de Projetos Ltda. (\*)

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de tratamento adotado para as Estações de Tratamento de Esgotos de Barueri e ABC, foi desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Sanitária da HIDROSERVICE - Engenharia de Projetos Ltda., com a colaboração da METCALF & EDDY INTERNATIONAL INC., conceituada empresa norte-americana especializada no campo da Engenharia Sanitária, subcontratada pela HIDROSERVICE para esta finalidade. Participaram também desta fase de definição do processo, o Prof. Gerard A. Rohlich, da Universidade do Texas, nome de prestígio mundial nessa área, e o Prof. Eduardo Pacheco Jordão, especialista brasileiro, ambos consultores permanentes da HIDROSERVICE, desde 1973.

Por outro lado, prosseguindo numa política que se iniciou com elaboração do Plano Diretor de Esgotos da Região Metropolitana de São Paulo que deu origem ao SANEGRAN, quando, além da METCALF & EDDY e dos consultores acima, a HIDROSERVICE solicitou para problemas específicos a participação do Prof. Joseph Malina Jr. e do Prof. Gerrit V. R. Marais, respectivamente das Universidades do Texas e do Cabo, outros especialistas foram convidados para colaborar nos estudos. Estes especialistas, o Dr. Klaus R. Imhoff, Diretor da "Ruhr Reservoir Association", da Alemanha, e o Eng. Roy L. Summers do "Thames Water Authority", da Inglaterra, juntamente com o Prof. Rohlich, revisaram todos os estudos feitos e tendo chegado a um consenso, deixaram relatório conjunto, abordando o proces-

so em geral, com enfoque especial para a seleção do tipo de aeração e para o problema de tratamento e disposição final do lodo.

Como decorrência de todos esses estudos, onde se procurou buscar a melhor experiência internacional, resultou o processo de tratamento descrito neste trabalho.

## 2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ETEs

### 2.1. LOCALIZAÇÃO E ÁREAS ATENDIDAS

A Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri situa-se no município de Barueri, na margem esquerda do Rio Tietê, em terreno limitado por esse curso de água e pelos trilhos da FEPASA. Logo a montante da ETE existem cavas abertas para exploração da areia e que serão destinadas à disposição final do lodo.

A ETE de Barueri deverá tratar a quase totalidade dos esgotos da cidade de São Paulo, acrescida dos provenientes das cidades de Barueri, Jandira, Itapevi, Carapicuíba, Guarulhos, Taboão da Serra, Osasco, Embu e Itapeverica.

A área de influência da ETE Barueri abrangerá as seguintes sub-bacias da Região Metropolitana de São Paulo: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91 e 92.

A Ilustração BAR-2.1.1 mostra a área atendida pela estação, e as respectivas sub-bacias contribuintes.

### 2.2 ESTIMATIVA DAS VAZÕES AFLUENTES E DAS RESPECTIVAS CARGAS POLUIDORAS (DBO)

Com base nas estimativas feitas no Plano Diretor do Sistema de Esgotos da Região Metropolitana e no programa de obras estabelecido pela SABESP, foi possível elaborar o Quadro 2.2.1 que mostra, em 1986 e em 2000, vazões e cargas poluidoras esperadas na ETE Barueri.

Especificamente em relação à DBO, verifica-se que sua concentração deverá manter-se praticamente constante, passando de 290 mg/l em 1986 a 310 mg/l no ano 2000. Considerando ser pequena essa variação, adotou-se para a concentração da DBO afluente o valor de 300 mg/l.

### 2.3. MODULAÇÃO DA ETE

O programa de implantação de obras aprovado pela SABESP prevê as seguintes fases para a ETE Barueri:

Início de Operação	Vazão Média
1983	7 m <sup>3</sup> /s (1 módulo de 7 m <sup>3</sup> /s)
1986	21 m <sup>3</sup> /s (3 módulos de 7 m <sup>3</sup> /s)
1990	35 m <sup>3</sup> /s (5 módulos de 7 m <sup>3</sup> /s)
capacidade final até o ano 2000	63 m <sup>3</sup> /s (9 módulos de 7 m <sup>3</sup> /s)

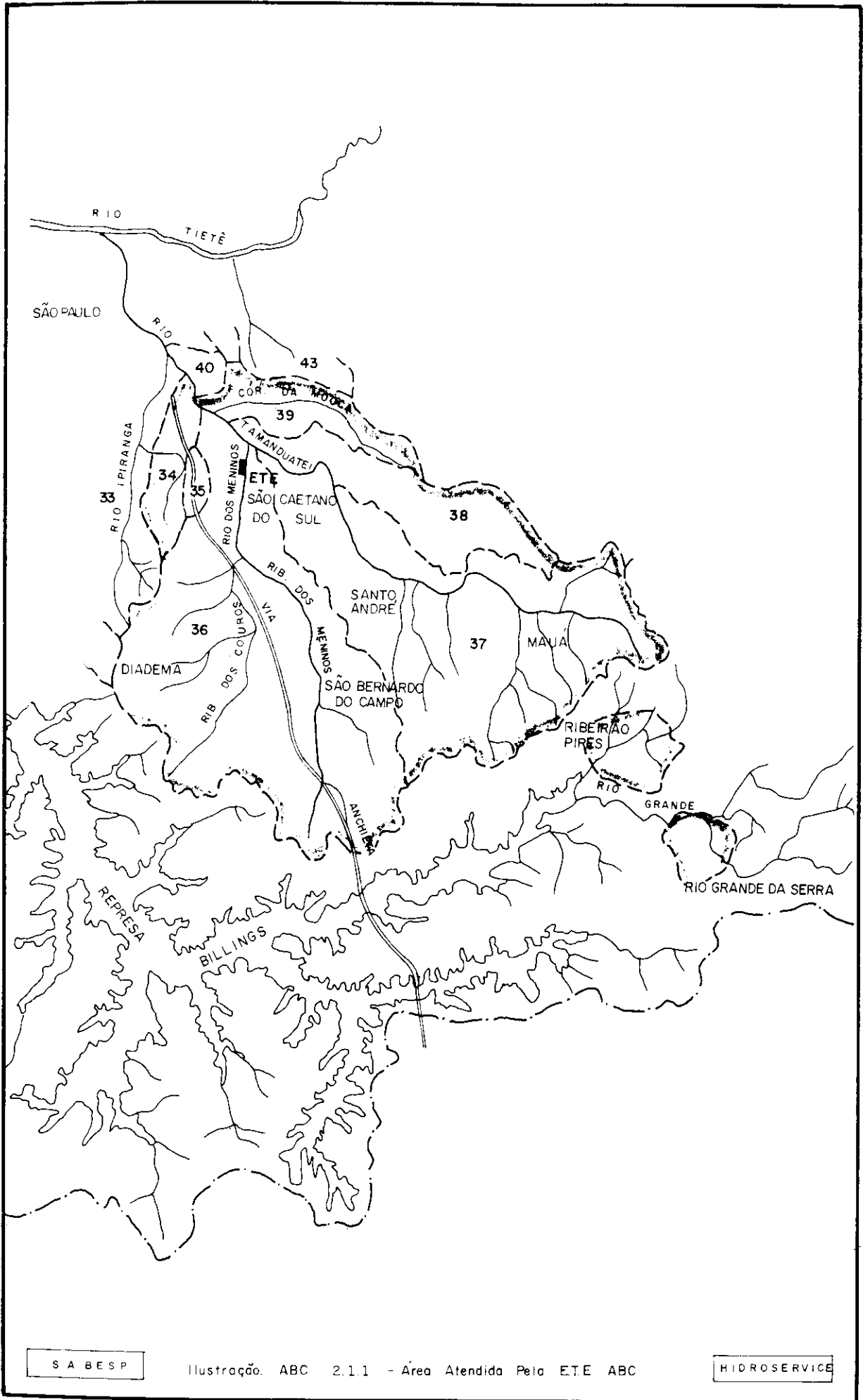
Adotou-se para a ETE Barueri o módulo 7 m<sup>3</sup>/s, e coeficiente de pico de 1,65.

### 2.4. ETE ABC

#### 2.4.1. Localização e áreas atendidas

A Estação de Tratamento de Esgotos do ABC situa-se no município de São Paulo, na margem esquerda do

(\*) Consultora da SABESP.



## QUADRO 2.2.1

## VAZÕES E CARGAS POLUIDORAS AFLUENTES À ETE BARUERI

Bacias	1986						2000					
	Esgotos Domésticos		Esgotos Industriais		Q Total (m <sup>3</sup> /s)	DBO (t/d)	Esgotos Domésticos		Esgotos Industriais		Q Total (m <sup>3</sup> /s)	DBO (t/d)
	Q (m <sup>3</sup> /s)	DBO (t/d)	Q (m <sup>3</sup> /s)	DBO (t/d)			Q (m <sup>3</sup> /s)	DBO (t/d)	Q (m <sup>3</sup> /s)	DBO (t/d)		
2 a 4, 10 a 13, 27 a 33, 40 a 45, Barueri, Jandira e Itapevi	9,975	232,686	2,341	109,567	12,316	342,253	19,669	509,944	2,747	129,192	22,416	639,136
5	0,105	2,440	—	—	0,105	2,440	0,392	10,173	—	—	0,392	10,173
14	0,430	10,023	0,064	0,828	0,493	10,851	0,772	20,023	0,065	0,849	0,838	20,872
15	0,171	3,998	—	—	0,171	3,998	0,280	7,265	—	—	0,280	7,265
16	0,881	20,547	0,104	3,887	0,985	24,434	2,281	59,127	0,169	6,305	2,450	65,432
17	0,417	9,727	0,059	0,274	0,476	10,000	0,694	17,980	0,096	0,444	0,789	18,423
18	0,170	3,959	0,013	0,953	0,182	4,913	0,379	9,822	0,020	1,547	0,399	11,369
19	0,144	3,363	0,030	1,587	0,174	4,949	0,363	9,412	0,049	2,575	0,412	11,986
46	0,575	13,411	0,013	0,100	0,588	13,510	0,809	20,972	0,013	0,102	0,822	21,074
47	0,130	3,035	0,009	0,195	0,139	3,231	0,396	10,269	0,015	0,324	0,411	10,594
48	0,017	0,405	0,009	0,195	0,027	0,600	0,027	0,709	0,015	0,324	0,043	1,033
49	—	—	0,032	0,674	0,032	0,674	0,021	0,557	0,053	1,120	0,074	1,677
50	0,037	0,868	0,504	1,229	0,541	2,097	0,100	2,582	0,836	2,041	0,936	4,622
51	0,174	4,056	0,009	0,195	0,183	4,251	0,381	9,879	0,015	0,324	0,396	10,204
52	0,020	0,461	—	—	0,020	0,461	0,060	1,548	—	—	0,060	1,548
53	—	—	0,009	0,510	0,009	0,510	—	—	0,009	0,523	0,009	0,523
54	0,368	8,582	0,690	5,599	1,058	14,180	0,606	15,709	0,707	5,740	1,313	21,449
55	0,152	3,535	—	—	0,152	3,535	0,253	6,551	—	—	0,253	6,551
58	0,328	7,643	0,001	0,026	0,329	7,668	0,912	23,640	0,001	0,027	0,913	23,667
59	0,394	9,187	0,004	0,028	0,397	9,215	1,109	28,734	0,004	0,028	1,112	28,763
60	0,170	3,967	0,134	3,981	0,304	7,948	0,541	14,027	0,137	4,082	0,678	18,109
61	0,103	2,412	0,017	0,167	0,120	2,579	0,297	7,690	0,017	0,171	0,314	7,862
62	0,178	4,156	0,018	2,169	0,196	6,325	0,555	14,373	0,018	2,224	0,573	16,597
63	0,107	2,497	0,011	0,346	0,118	2,843	0,183	4,750	0,011	0,355	0,194	5,105
64	0,968	22,570	0,018	0,829	0,985	23,399	1,873	48,537	0,018	1,031	1,891	49,569
65	0,702	16,378	0,023	1,489	0,725	17,867	1,340	34,726	0,024	1,526	1,363	36,252
75	0,173	4,031	0,011	0,231	0,184	4,261	0,289	7,488	0,028	0,589	0,317	8,077
76	0,298	6,946	0,026	1,018	0,324	7,964	0,502	13,010	0,066	2,597	0,568	15,606
77	0,339	7,901	0,180	5,194	0,519	13,095	0,737	19,108	0,459	13,247	1,197	32,355
81	—	—	—	—	—	—	0,026	0,678	—	—	0,026	0,678
82	0,156	3,647	—	—	0,156	3,647	0,254	6,581	—	—	0,254	6,581
83	0,129	3,006	0,015	0,091	0,144	3,096	0,272	7,060	0,015	0,093	0,288	7,153
84	0,056	1,297	—	—	0,056	1,297	0,178	4,611	—	—	0,178	4,611
85	0,310	7,221	—	—	0,310	7,221	0,557	14,449	—	—	0,557	14,449
86	0,051	1,194	0,011	0,231	0,062	1,425	0,114	2,943	0,028	0,589	0,141	3,532
87	0,086	2,010	0,009	0,195	0,095	2,205	0,206	5,337	0,015	0,324	0,221	5,661
88	—	—	0,009	0,195	0,009	0,195	0,638	16,528	0,015	0,324	0,653	16,852
90	0,277	6,456	—	—	0,277	6,456	0,750	19,437	—	—	0,750	19,437
91	—	—	0,011	0,231	0,011	0,231	0,272	7,057	0,028	0,589	0,300	7,646
92	—	—	0,011	0,231	0,011	0,231	0,108	2,788	0,028	0,589	0,135	3,377
Subtotal	18,591	433,615	4,395	142,445	22,986	576,060	39,196	1.016,074	5,721	179,795	44,917	1.195,869
Pinheiros: Bacias 66 a 74 e 78 a 80	—	—	—	—	—	—	15,785	409,216	1,634	66,921	17,419	476,137
Leopoldina: Bacias 6 a 9, 20 a 26 e 89	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Total	18,591	433,615	4,395	142,445	22,986	576,060	54,931	1.425,290	7,355	246,716	62,336	1.672,006
% Esgoto Industrial/Total	—	—	19,120	24,727	—	—	—	—	11,799	14,756	—	—
DBO (mg/l)	—	269,953	—	375,124	—	290,062	—	300,038	—	388,241	—	310,445



**QUADRO 2.2.1**  
CONTRIBUIÇÃO DE ESGOTOS À ETE ABC

Bacia	1986						1990						1995					
	Doméstico		Industrial		Total		Doméstico		Industrial		Total		Doméstico		Industrial		Total	
	O m³/s	DBO t/d	O m³/s	DBO t/d	O m³/s	DBO t/d	O m³/s	DBO t/d	O m³/s	DBO t/d	O m³/s	DBO t/d	O m³/s	DBO t/d	O m³/s	DBO t/d	O m³/s	DBO t/d
34	0,46	10,78	0,15	4,70	0,61	15,48	0,54	13,12	0,20	6,13	0,74	19,25	0,76	19,72	0,25	7,61	1,01	27,33
35	0,07	1,74	—	—	0,07	1,74	0,08	1,97	—	—	0,08	1,97	0,10	2,60	—	—	0,10	2,60
36	1,85	43,16	0,76	26,86	3,22	70,02	2,26	54,73	0,78	27,54	3,04	88,27	4,75	123,14	0,78	27,54	5,53	150,68
37	1,10	25,56	1,17	36,30	2,27	61,85	1,37	33,14	1,20	37,21	2,57	70,25	2,10	54,52	1,20	37,22	3,30	91,74
38	1,57	36,67	0,01	—	1,58	36,67	2,21	53,49	0,01	—	2,22	53,49	3,79	98,12	0,01	—	3,80	98,12
39	0,34	19,53	0,06	1,31	0,90	20,90	0,95	22,89	0,06	1,35	1,01	24,22	1,32	34,13	0,06	1,35	1,38	35,45
Ribeirão Pires	0,06	1,54	—	—	0,06	1,54	0,09	2,22	—	—	0,09	2,22	0,12	3,20	—	—	0,12	3,20
R. G. Serra	0,04	0,87	—	—	0,04	0,87	0,06	1,55	—	—	0,06	1,55	0,13	3,42	—	—	0,13	3,42
Total	6,00	140,0	2,2	69,2	9,2	209,2	7,5	183,0	2,2	72,2	9,7	255,2	13,0	338,8	2,3	73,7	15,3	412,5
% Ind./Total	—	—	26,8	33,1	—	—	—	—	22,7	28,3	—	—	—	—	15,0	17,9	—	—
DBO	—	270	—	364	—	295	—	282	—	380	—	304	—	302	—	371	—	311

Ribeirão dos Meninos, em terreno localizado no cruzamento da Avenida Almirante Delamare com a Avenida Guido Aliberti. Deverá tratar os esgotos de parte da cidade de São Paulo e das cidades de Santo André, São Bernardo, São Caetano, Diadema, Ribeirão Pires e Rio Grande da Serra; correspondentes às seguintes sub-bacias da Região Metropolitana de São Paulo: 34, 35, 36, 37, 38 e 39.

A Ilustração ABC-2.1.1 mostra a área atendida e as respectivas sub-bacias.

**2.4.2 Estimativa de vazões e cargas poluidoras**

Os Quadros 2.2.1 e 2.2.2 mostram, respectivamente, as vazões e cargas de DBO esperadas na ETE ABC e a relação entre vazão e cargas de DBO industriais e totais, durante o prazo de alcance do projeto. Observe-se que a contribuição industrial decresce relativamente com o decorrer dos anos, passando de 27% em relação a vazão e 33% em relação a DBO em 1986 a 15% e 18% respectivamente no ano 2.000.

Em relação à concentração de DBO, mantendo-se a mesma na faixa de 295 a 304 mg/l, adotou-se para dimensionamento o valor de 300 mg/l.

**2.4.3 Modulação da ETE**

O programa de implantação de obras prevê as seguintes etapas de construção para a ETE ABC (em relação à vazão média):

Início de Operação	Vazão Média
• 1982	2 m³/s (5 módulos de 3 m³/s)
• 1986	mais 9 m³/s (5 módulos de 3 m³/s)
• 1995	mais 15 m³/s (5 módulos de 3 m³/s)

Em relação ao pico horário, o valor do coeficiente respectivo deverá va-

riar de 1,7 para a 1.ª etapa a 1,5 para a etapa final.

**QUADRO 2.2.2.**  
VARIÇÃO DAS CONTRIBUIÇÕES INDUSTRIAIS À ETE ABC

Ano	Vazão	Ind. % Total	Carga DBO	Ind. % Total
1985	26,8		33,1	
1990	22,7		28,3	
2000	15,0		17,9	

**3. CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO AFLUENTE**

Os estudos desenvolvidos no Plano Diretor do Sistema de Esgotos da Região Metropolitana de São Paulo haviam indicado as características esperadas de qualidade dos afluentes às duas estações, em relação a DBO e a Sólidos em Suspensão, iguais a 300 mg/l.

Para Barueri não se chega a ter preocupação particular relativa à tratabilidade dos esgotos, por processo biológico, uma vez que, na 1.ª fase, cerca de 80% são de natureza doméstica, e apenas 20% de origem industrial; na fase final estes valores são ainda mais favoráveis, alterando-se segundo as estimativas para 88 e 12%.

As determinações de metais pesados nos afluentes às estações hoje existentes de Pinheiros e de Vila Leopoldina, estações que recebem esgotos tipicamente domésticos, indicaram concentrações bastante inferiores às concentrações limitantes para o tratamento biológico. Situação semelhante é esperada na futura ETE Barueri.

Em relação a ABC, a contribuição industrial é mais acentuada na fase

inicial (27% da vazão é de origem industrial, e 73% doméstica). Estes números no entanto se modificam na fase final da vida do projeto, passando a contribuição industrial a 15%, e a doméstica a 85%.

Ora, esgotos de natureza predominantemente industrial podem possuir substâncias ou componentes que devam ser removidos ou alterados, antes de submetidos a um tratamento biológico. Eventualmente, esses esgotos podem não ser susceptíveis ao tratamento biológico, a menos que sofram os condicionamentos referidos, ou sejam misturados a outros despejos mais adequáveis a esse tipo de tratamento.

Julgou-se, assim, conveniente a caracterização dos parâmetros típicos do esgoto a tratar e, em particular, a avaliação de sua tratabilidade através de ensaios específicos.

Entretanto, a circunstância das redes coletoras de Santo André, São Caetano, São Bernardo e Diadema não estarem ainda conectadas aos interceptores do ABC dificultava precisar os parâmetros físicos e químicos esperados. Considerando no entanto que o Ribeirão dos Meninos e o Rio Tamanduateí, são hoje os receptores naturais do esgoto dessa região, é razoável admitir que o conhecimento dos parâmetros desses corpos receptores possa conduzir, com certa aproximação, ao conhecimento da faixa de parâmetros a esperar na ETE ABC, em sua fase final.

Desta maneira foi a CETESB solicitada a coletar amostras no Rio Tamanduateí — o que fez no período de seca, por 28 dias consecutivos, a intervalos de 2 horas — e a determinar a presença dos parâmetros de interesse, incluindo metais pesados, substâncias tóxicas, nutrientes, DBO, DQO, sólidos.

Além destas determinações, a CETESB realizou ensaios específicos

de tratabilidade, tanto para o processo de lodos ativados como para a digestão do lodo.

O Quadro 3.1 compara os resultados relativos a metais pesados, fenóis e cianetos, das águas do Rio Tamanduateí, após decantação, com valores medidos nos efluentes do decantador primário, das ETEs de Pinheiros e Vila Leopoldina, no mesmo período.

Por estes dados pode-se admitir que o nível de substâncias tóxicas no esgoto decantado não deverá ser um fator limitante para o tratamento biológico da fase líquida na ETE. Esta consideração foi confirmada no decorrer dos ensaios de tratabilidade.

Outras determinações indicaram para as águas do Rio Tamanduateí, nas condições citadas:

relação DQO/DBO: Valor médio 2,88 (valores extremos de 2,04 a 3,61 para 21 amostras compostas)

relação DBO:N:P: igual a 1:5,7:30,5) para os valores médios de 21 amostras compostas decantadas no período)

### 3.1. ENSAIOS DE TRATABILIDADE

Os ensaios realizados trouxeram valiosa contribuição para o projeto da ETE ABC, sendo importantes na medida em que a parcela de despejos industriais representa parte ponderável da vazão e da carga orgânica afluente à estação, na sua fase inicial.

Estes ensaios visavam, objetivamente:

verificação preliminar da tratabilidade por processos biológicos (lodos ativados) — fase líquida;

verificação de parâmetros típicos da reação biológica — fase líquida;

verificação preliminar da tratabilidade por processos biológicos — fase sólida (digestão anaeróbica);

verificação da influência ou limitação no tratamento, causado por substâncias específicas, em excesso ou falta, tais como: metais pesados e nutrientes.

Admitiu-se que o Rio Tamanduateí, como receptor natural dos despejos da região, poderia ser considerado como representativo dos esgotos a analisar, dentro dos objetivos dos ensaios.

Assim, escolheu-se um local próximo da área da futura ETE, e estabeleceu-se um plano de coleta de amostras de água do rio, a cada 2 horas, compostas diariamente, ao mesmo tempo em que se mediam as vazões do rio, de modo a correlacioná-las com as descargas de esgotos.

É importante ter em conta que em nenhum momento se teve a intenção de obter desses ensaios dados de operação, e utilizá-los como parâmetros rígidos de projeto. Considerando as limitações existentes, e

QUADRO 3.1

CONCENTRAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS TÓXICAS NO RIO TAMANDUATEÍ (APÓS DECANTAÇÃO) E NOS ESGOTOS DECANTADOS DAS ETEs PINHEIROS E VILA LEOPOLDINA (mg/l) (\*)

Substâncias	Rio Tamanduateí (1)	ETE Pinheiros (2)	ETE Leopoldina (2)
Cu	0,05 — 0,32 (0,24)	0,06	0,16
Pb	0,02 — 0,26 (0,17)	0,05	0,07
Zn	0,34 — 3,40 (2,14)	0,19	0,51
Mn	0,09 — 0,50 (0,36)	0,06	0,09
Hg (**)	4,30 — 19,8 (8,52)	1,30	0,80
Cr Total	0,29 — 3,64 (0,99)	0,04	0,09
Ni	0,05 — 1,52 (0,29)	0,04	0,07
Cd	< 0,002 — 0,03 (0,017)	< 0,02	< 0,02
Ba	0,10 — 0,80 (0,82)	0	0
Ag	< 0,01	0,06	< 0,01
Fenóis	0,58 — 2,18 (1,58)	0,04	0,02
Cianetos	0,028 — 1,530 (0,212)	0,017	0,013

(\*\*) Microgramas/litro.

(\*) Valores extremos: em parênteses os valores médios.

(1) Período de 2 a 27/08/77; amostras compostas de 24 h.

(2) Período de 28 a 29/08/77; amostras compostas de 24 h.

a grandeza da estação, os ensaios são antes de mais nada um indicador seguro da tratabilidade e do comportamento dos processos estudados.

Para a fase líquida foram utilizados reatores biológicos, em número de oito, como mostra a Ilustração 3.1.1, operados continuamente, nos quais se procurou, como metodologia:

manter tempos de aeração de 3, 6, 12 e 24 horas, e em consequência, fatores de carga cobrindo toda a faixa típica de lodos ativados;

manter uma concentração de SSVTA,\* da ordem de 2.000 mg/l;

Nos ensaios realizados, os tempos de detenção variaram de 3,29 h a 24,19 h, com fatores de carga entre 0,11 e 0,73 d<sup>-1</sup>. Não se conseguiu, porém, obter 2.000 mg/l de SSVTA, permanecendo este valor entre 1.500 e 1.650 mg/l, devido, provavelmente, à relativamente baixa concentração de sólidos voláteis em suspensão nas amostras. A alimentação dos reatores foi feita de hora a hora, com as amostras coletadas.

Resultados significativos foram conseguidos, como:

Em todos os reatores a redução de DBO e DQO foi elevada; a

Ilustração 3.1.2 mostra a curva de variação da DBO efluente no tempo para os 8 reatores do ensaio, bem como a remoção da DQO; vê-se que em todos os reatores a DBO foi reduzida até cerca de 13 mg/l (superior a 90% de remoção) e a remoção de DQO foi da ordem de 80%. Estes dados permitem concluir que o esgoto da área do ABC, representado pelas águas do Rio Tamanduateí, é tratável pelo processo de lodos ativados. Na verdade, a preocupação inicial em relação à inibição do tratamento biológico pela eventual presença de metais pesados já fora abrandada pela constatação de níveis aceitáveis no esgoto decantado do rio, tal como apresentado no Quadro 3.1.

Não se conseguiu alcançar a concentração de sólidos em suspensão voláteis nos reatores estabelecida na metodologia (2.000 mg/l, tal como se verifica na Ilustração ABC 3.1.2 (os valores conseguidos não chegaram a ser superiores a 1.650 mg/l).

A mesma ilustração mostra a percentagem de sólidos em suspensão voláteis em relação aos sólidos em suspensão totais, durante toda a fase dos ensaios. Vê-se que a % SSV/SS esteve quase sempre entre 40% e 50%, alcançando algumas vezes, próximo ao término dos ensaios, 55%. Esses valores são bastante

(\*) SSVTA - Sólidos Voláteis em Suspensão no Tanque de Aeração.

## PROCESSO

atípicos para esgotos domésticos, e poderiam ser justificados pela presença elevada de despejos industriais. É possível no entanto que a percentagem de sólidos voláteis se tenha mantido baixa em virtude da amostra coletada ser muito rica em sólidos inorgânicos, como pode ser comum em rios como o Tamanduateí.

Os parâmetros típicos da reação biológica puderam ser determinados, a partir dos resultados obtidos nos ensaios. Os valores de  $a'$  e  $b'$  (fração da matéria orgânica que é usada para energia, e quantidade de oxigênio utilizado por dia por uso de lodo no reator, para a respiração endógena) foram respectivamente 0,5830 e 0,1761, valores que se enquadram bem na faixa usual para esgotos, tanto domésticos como industriais, aproximando-se bastante dos esgotos bem degradáveis (domésticos, por exemplo,  $a' = 0,52$ ,  $b' = 0,12$ ).

Já os valores de  $a$  e  $b$  (fração da matéria que é sintetizada em novas células, e fração de organismo que é oxidada por unidade de tempo na fase de respiração endógena), foram relativamente baixos, respectivamente 0,2312 e 0,0130. A baixa

produção de lodo obtida e o baixo teor de sólidos voláteis poderiam causar esses resultados atípicos; é possível mesmo que dificuldades operacionais próprias da utilização de um reator de capacidade muito pequena tenham dificultado a coleta e medição adequada da produção de lodo.

Os ensaios demonstram que é possível tratar pelo processo dos lodos ativados os esgotos afluentes, com tempos de detenção e fatores de cargas usuais. Mostraram ainda que se deve, na fase de projeto, dar atenção especial à concentração de sólidos voláteis no tanque de aeração.

Ao contrário dos ensaios de trabalhabilidade da fase líquida, que foram realizados em reatores contínuos, os da fase sólida (lodo) foram realizados em "batelada", tendo em conta o próprio objetivo das experiências, destinadas a fornecer indicações sobre o comportamento do lodo no processo de digestão anaeróbia e sobre os fatores limitantes a uma eventual má digestão.

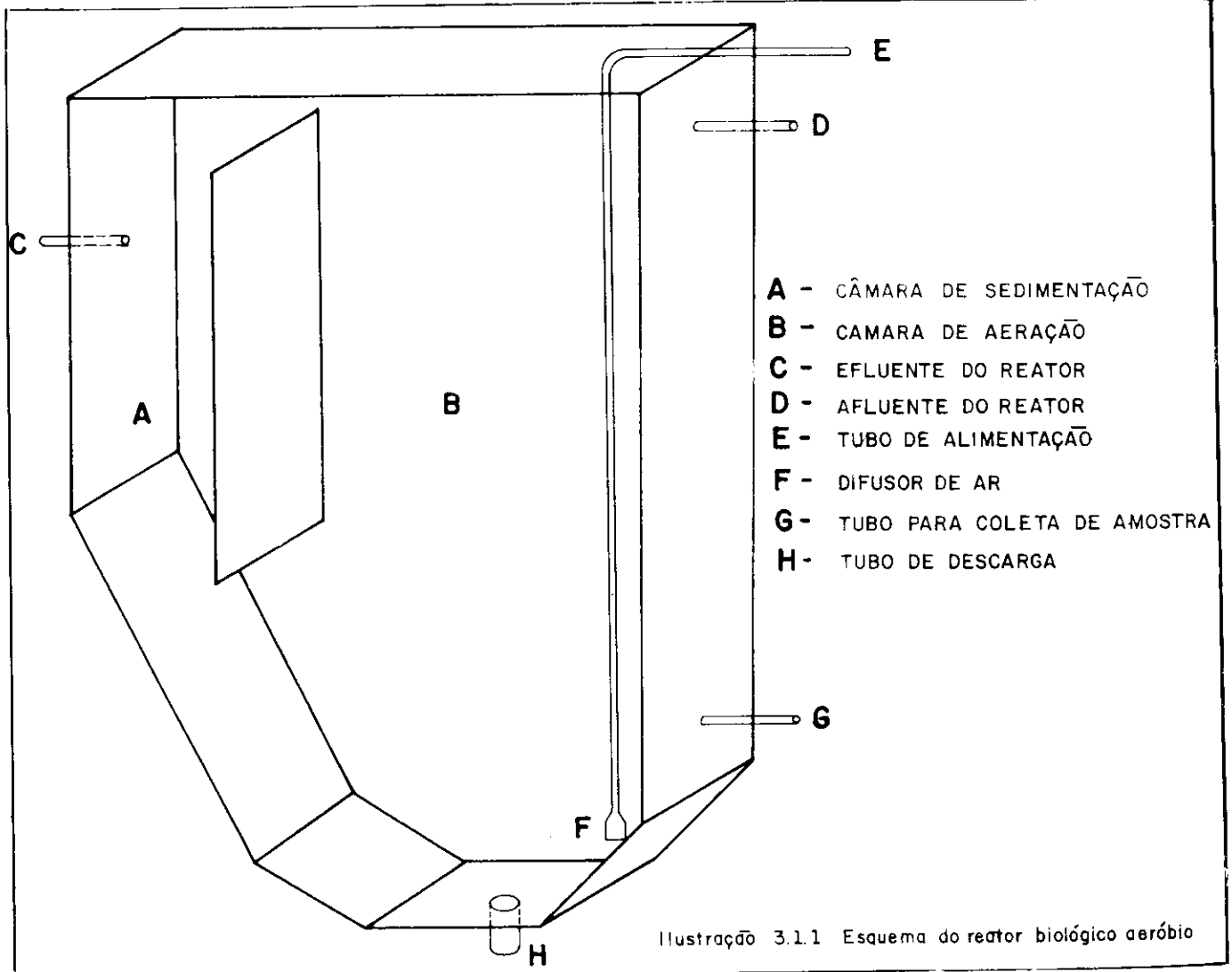
Os ensaios foram realizados em dois fermentadores, um com lodo cru decantado das águas do Rio Tamanduateí (amostra composta de 6 dias)

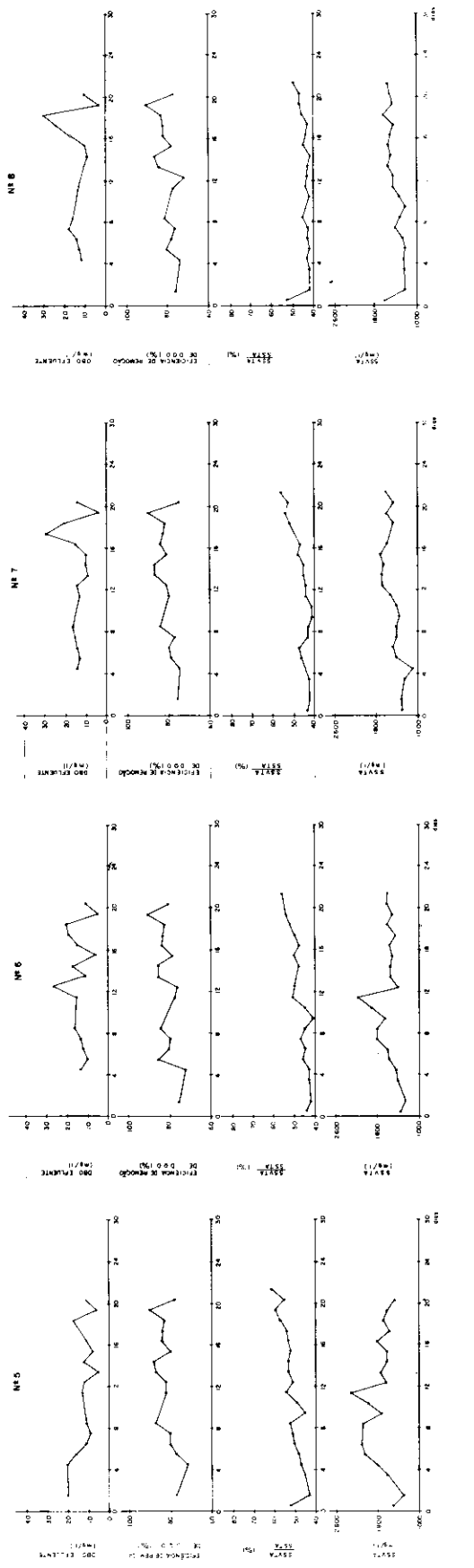
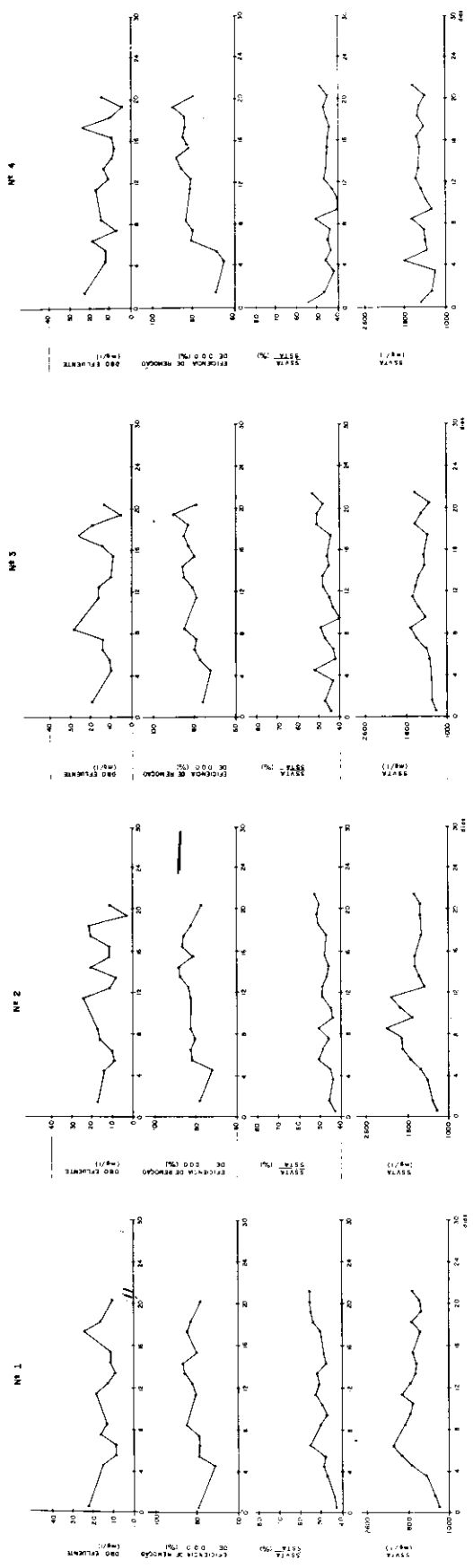
e inóculo, e outro com lodo cru primário adensado da ETE Pinheiros e inóculo. O inóculo, nos dois casos, foi o lodo digerido da ETE Pinheiros. O tempo de ensaio de digestão foi de 30 dias.

A comparação entre os dados levantados nos dois digestores indica que a digestão do lodo proveniente da decantação das águas do Rio Tamanduateí se processa de forma mais lenta, e que a produção de gás — um bom indicador para a digestão — é para esse lodo cerca de 3 vezes menor que para o lodo típico de esgoto doméstico da ETE Pinheiros.

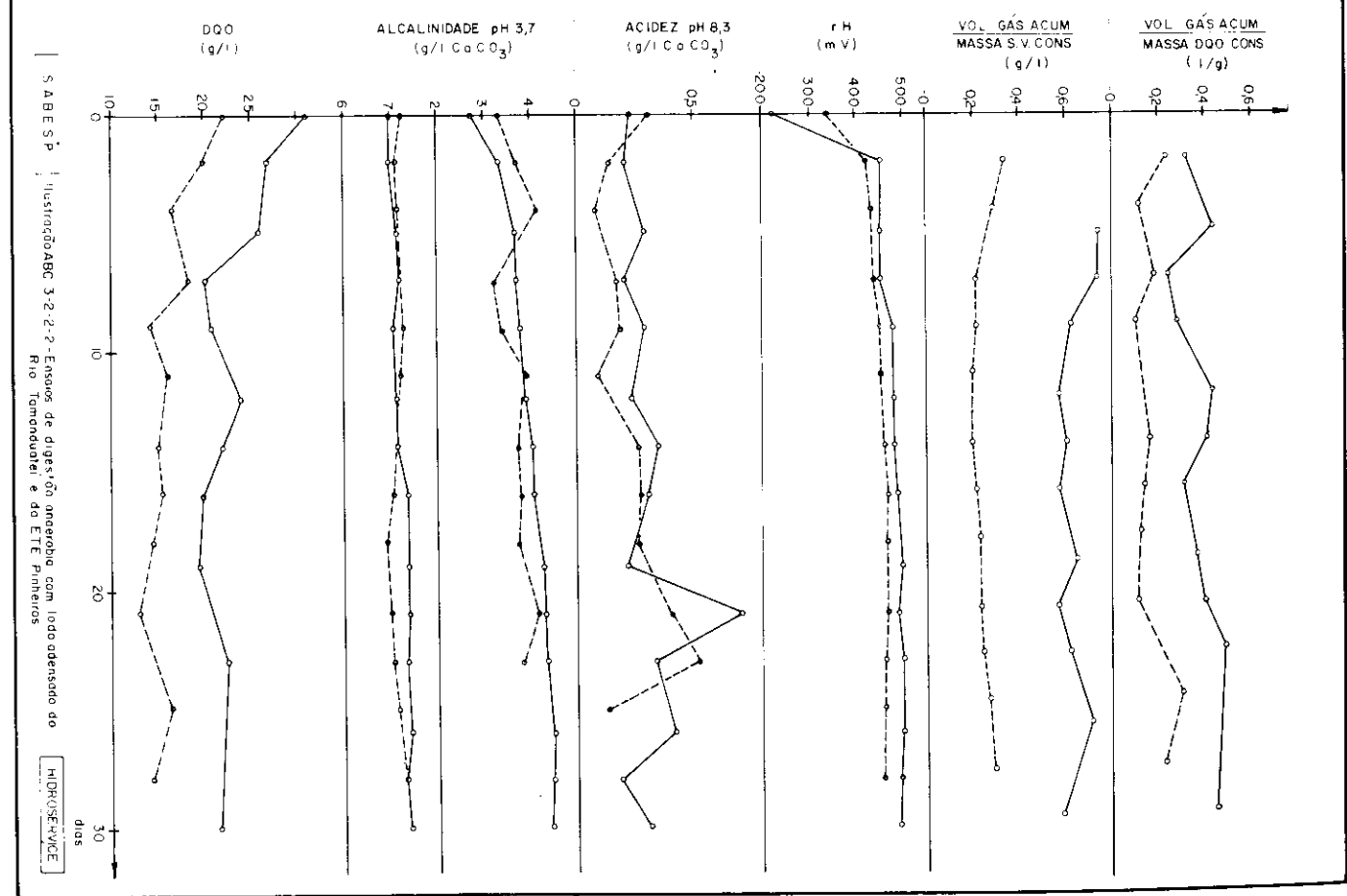
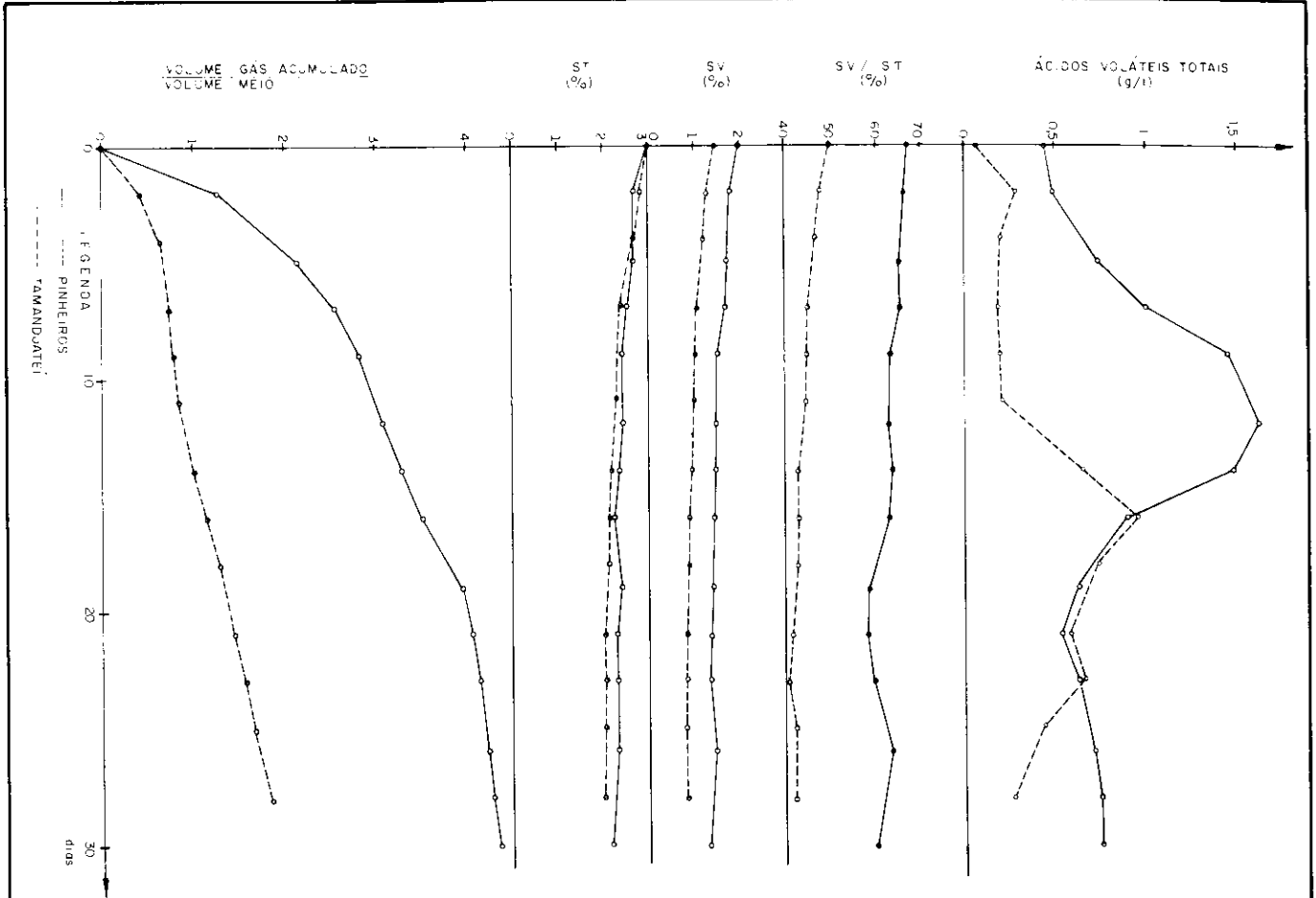
Os dados medidos são apresentados na Ilustração 3.1.3, englobando: acidez, alcalinidade, pH, rH, DQO, ácidos voláteis totais, % SV/ST, % SV, %ST, volume de gás acumulado/volume do meio, volume de gás acumulado/massa de DQO consumida, volume de gás acumulado/massa de sólidos voláteis consumida.

Uma provável explicação para esta digestão mais lenta pode ser a maior presença de substâncias inibidoras (como metais pesados), que se concentram no lodo cru decantado e adensado do Rio Tamanduateí. Outro fator possível é o menor teor de sólidos voláteis, que é típico de esgo-









tos contendo parcela representativa de despejos industriais ou sólidos inorgânicos de águas pluviais.

Em relação à presença de metais pesados no lodo do Rio Tamandua-teí propriamente, sua concentração é maior do que no lodo da ETE Pinheiros. Não é no entanto impeditiva ao desenvolvimento da digestão.

Estes resultados foram objetivamente levados em consideração no projeto dos digestores de ABC.

#### 4. PROCESSO DE TRATAMENTO

Nos estudos do Plano Diretor de Esgotos da Região Metropolitana de São Paulo, a capacidade de recepção de cargas poluidoras pelos corpos d'água receptores, foi avaliada, nas diversas alternativas consideradas nos referidos estudos, mediante a aplicação de um modelo matemático descritivo do balanço de oxigênio dos recursos d'água sob diversas condições.

O modelo utilizado foi o DOSAG, desenvolvido em 1970 nos Estados Unidos para a Agência de Controle Ambiental do Governo Norte Americano ("EPA"), com modificações posteriores já introduzidas, e já utilizado no Brasil pela CETESB (estudo do Rio Paraíba do Sul).

A aplicação do modelo mostra que com tratamento secundário haverá sensível melhoria nos níveis da demanda bioquímica de oxigênio dos rios, com reflexos correspondentes

nos níveis de oxigênio dissolvido durante grande parte do tempo. Todavia nos meses mais secos do ano (julho e agosto) a depressão ou déficit de oxigênio dissolvido seria bastante elevada, não sendo possível precisar com os recursos técnicos atualmente disponíveis, qual probabilidade de que nestes meses não venha a ser atendido o padrão de qualidade que a atual legislação estipula para estes rios (classe 4).

O plano previu, por esta razão, que a partir do fim do século, caso se verificarem realmente as taxas de crescimento prognosticadas para as cargas poluidoras, será necessário suplementar o tratamento secundário, quer por meio de processos mais avançados de tratamento, quer por meio de aeração direta dos cursos d'água.

Por outro lado, espera-se também, que com o tratamento secundário proposto, ocorram radicais modificações relativas às estéticas das águas, que ficarão livres de sólidos, graxas, óleos, materiais em suspensão, adquirindo maior transparência e menor coloração.

Assim, julgou-se adequado realizar o tratamento nas duas estações em grau secundário, projetando-se os primeiros módulos para uma eficiência de 90% de remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio e Sólidos em Suspensão, garantindo a obtenção de um efluente com menor carga orgâ-

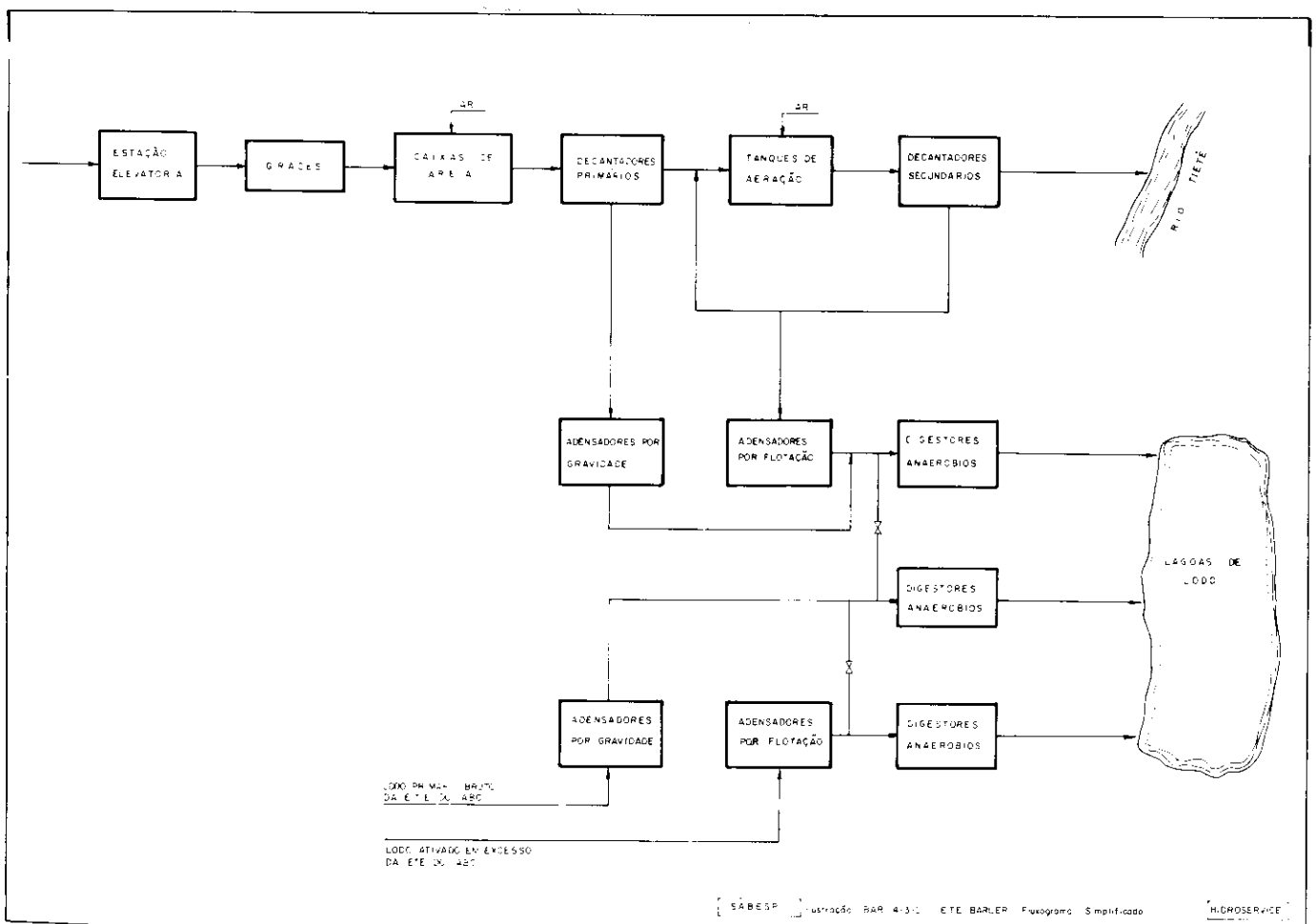
nica residual e baixa turbidez, e o corpo receptor com as características de águas limpas acima descritas.

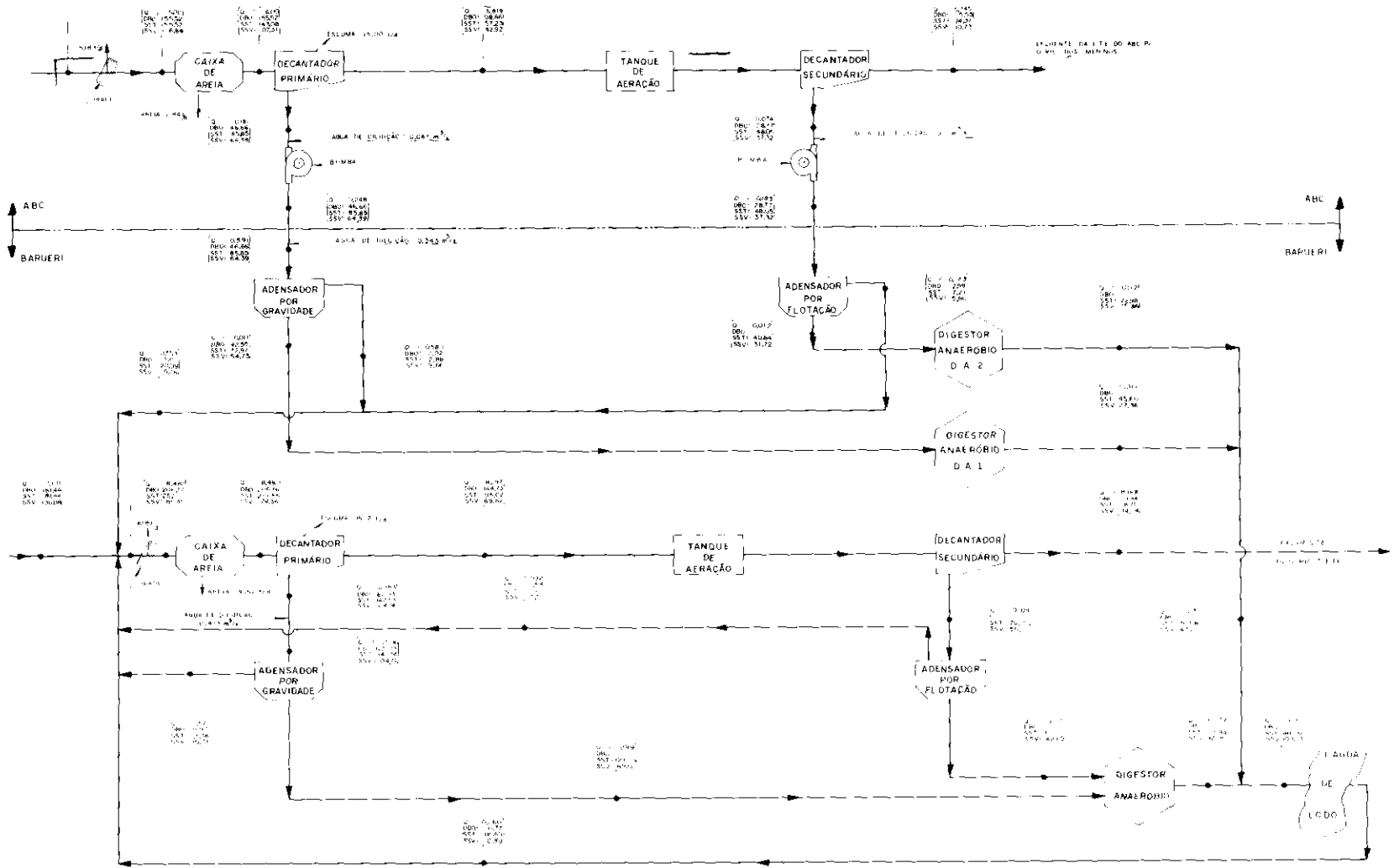
Na verdade, extensões futuras destas estações poderão vir a adotar o tratamento avançado, com tecnologia seguramente mais acessível, obtendo-se então condições de qualidade nos corpos receptores ainda melhores do que as determinadas por seu atual enquadramento, e de geral benefício para todos os demais corpos d'água da bacia.

O processo de tratamento biológico por lodos ativados tradicionalmente utilizado nas estações de grande porte, foi o adotado para os projetos de São Paulo. É confiável, permite uma boa flexibilidade operacional e reduz a demanda bioquímica de oxigênio a valores adequados, com eficiência superior a 90% de remoção da DBO.

Para este processo considerou-se o pré-tratamento convencional, com remoção de sólidos grosseiros, de areia e de sólidos sedimentáveis. Levando em conta que o esgoto afluente deverá ter características de esgoto velho, principalmente nos primeiros anos de operação do sistema, uma pré-aeração foi incorporada à unidade de remoção da areia.

O lodo resultante da decantação primária e o lodo ativado em excesso deverão receber condicionamento biológico por digestão anaeróbia. Condições peculiares da área próxi-





LEGENDA  
 Q - VAZÃO (m<sup>3</sup>/s)  
 DBO - (1/01)  
 SST - (1/61)  
 SSV - (1/61)

HIDROSERVICE			
DATA	PROJETO	PROJETADE	PROJETO

Nº	DATA	REV. S/D	PROJ.	DESENHO	DESENHO DE REFERÊNCIA	NÚMERO	NOTAS

SABESP	

HIDROSERVICE	

SANEPLAN	

BALANÇO DE MASSA	

ILUSTRAÇÃO - ABC 4.4.1



ma à Estação de Barueri, onde existem cavas de areia junto ao Rio Tietê, permitiram a opção de lançamento do lodo digerido diretamente nestas cavas, que se comportarão como lagoas de acumulação e adensamento do lodo tratado.

A alustração 4.1 mostra o fluxograma geral simplificado adotado para as duas estações.

No desenvolvimento do projeto hidráulico-sanitário procurou-se seguir as determinações das Normas Técnicas da ABNT, tal como constam do PNB-570, "Elaboração de Projetos Hidráulico-Sanitários de Sistemas do Tratamento de Esgotos Sanitários".

Vale lembrar que estas Normas se encontram ainda em estágio experimental, tendo sido, no entanto, utilizadas sempre que possível. Parâmetros diferentes dos especificados pela PNB-570 foram devidamente justificados, sempre que em condições extremas tiveram que ser empregados.

Considerou-se também que a construção das duas estações se daria simultaneamente, e que seriam operadas e mantidas pela mesma entidade, a SABESP. Julgou-se assim fundamental padronizar os seus equipamentos, e nesse sentido procurou-se manter as mesmas dimensões básicas das diversas unidades nos dois projetos (por exemplo, decantadores retangulares de mesma largura, decantadores circulares de mesmo diâmetro, etc.).

Um balanço de massas foi desenvolvido para se conhecer em qualquer unidade as cargas de sólidos e orgânica, afluente e efluente, bem como as vazões, tanto na fase líquida como na fase sólida. Para as duas estações este balanço está reproduzido na Ilustração 4.1.2.

## 5. TRATAMENTO PRIMÁRIO

### 5.1 REMOÇÃO DE SÓLIDOS GROSSEIROS

O tratamento primário inclui a remoção de sólidos grosseiros, da areia, e de sólidos sedimentáveis.

Os sólidos maiores deverão ser removidos principalmente por um gradeamento grosseiro localizado na chegada dos interceptores a montante da estação elevatória. As grades são inclinadas, de 12,7 x 63,5 mm, espaçadas de 10 cm, de limpeza manual.

A limpeza manual é justificada pelo maior espaçamento entre as barras, e menor quantidade de sólidos retidos; este material retido será, no entanto, removido do patamar de limpeza até à superfície, por um transportador mecanizado.

Este gradeamento tem o objetivo apenas de remover sólidos de grandes dimensões. O gradeamento mé-

dio ou fino, tradicionalmente feito a montante das bombas será neste caso realizado por grades de barras de operação mecanizada mas localizadas após o recalque dos esgotos, já no nível do terreno.

As grades mecanizadas são de barras inclinadas de 80°, de 12,7 x 76,2 mm, com espaçamento de 2,5 cm, nas duas estações.

Estas grades são colocadas em canais independentes, entre a estação elevatória e as caixas de areia, com as seguintes características principais:

#### Em Barueri:

- número de grades na 1.ª fase: 2
- número de grades na fase final: 9
- largura de cada grade: 3,20 m

#### Em ABC:

- número de grades na 1.ª fase: 2
- número de grades na fase final: 3
- largura de cada grade: 2,60 m

As grades foram dimensionadas para operar com uma reserva na 1.ª fase, e com velocidade de passagens que estão dentro das faixas usuais, segundo tecnologia moderna e verificação recente nas unidades mecanizadas. Estas velocidades variam, entre as vazões mínima e máxima, de 0,47 a 1,34 m/s, em Barueri, e de 0,43 a 1,15 m/s no ABC.

Sob certo aspecto pode parecer estar-se inovando ao efetuar o gradeamento após a estação elevatória. Considera-se, no entanto, a capacidade e o tamanho do motor das bombas, e a sensível vantagem de se ter uma instalação ao nível do terreno ao invés de a grande profundidade. A experiência verificada nas instalações de grande porte em vários centros indica ser dispensável o gradeamento a montante das bombas, dado o relativamente pequeno incremento nos serviços de manutenção da elevatória.

A operação de limpeza será feita por acionamento direto pelo operador, ou dispositivo temporizador. É previsto ainda um sistema de comando por diferença de nível.

O material gradeado é estimado em cerca de 6 ton/d para Barueri e 5 ton/d para ABC. Nos dois casos o seu destino será aterro sanitário.

### 5.2 REMOÇÃO DE AREIA

No estudo da remoção da areia foram consideradas as alternativas usuais de caixas longitudinais com velocidade controlada, aeradas, e de seção quadrada. Embora as caixas de areia aeradas apresentem custos mais elevados, foram as escolhidas, uma vez que poderão funcionar também como unidades de pré-aeração.

A pré-aeração foi considerada como de importância fundamental no

pré-tratamento, uma vez que o percurso do esgoto ao longo dos interceptores é muito extenso, podendo-se ter um esgoto velho afluente às estações.

Assim no caso de Barueri projetaram-se as unidades com um tempo de aeração próximo de 15 minutos (para a fase final e vazão máxima). Este tempo leva em conta não apenas as partes destinadas à retenção de areia e pré-aeração propriamente ditas mas também os canais aerados do tratamento primário.

Em Barueri, as unidades de retenção de areia foram então concebidas de modo a ter sua parte inicial funcionando como caixas de areia propriamente ditas e a parte restante com função de pré-aeração. Esta parte inicial foi dimensionada de acordo com o tempo usual empregado em remoção aerada de areia, da ordem de 4 minutos.

As caixas de areia serão em número de 18, na fase final, devendo cada módulo ser servido por um grupo de duas caixas. Sua implantação acompanhará a construção dos módulos.

Na ETE de ABC a chegada do esgoto pode ocorrer com condição desfavorável, uma vez que o interceptor já será construído para a fase final; no entanto a bacia contribuinte é menor, e no fim do plano as características do esgoto afluente já deverão ser as usuais e aceitáveis.

Dessa maneira, julgou-se conveniente proporcionar um maior tempo de aeração na fase inicial, da ordem de 10 minutos, podendo na fase final trabalhar-se com um tempo de aeração na faixa usual de remoção de areia apenas (da ordem de 4 minutos), dispensando-se então a pré-aeração com outras finalidades que não as de retenção da areia.

Decidiu-se assim em ABC construir na primeira fase a totalidade das caixas de areia requeridas para o fim do plano, fixando-se um tempo de aeração de 4,0 minutos para a fase final (com base na vazão máxima), resultando para a fase final o tempo de detenção de 9,0 minutos.

O número total de caixas de areia (em ABC) foi assim fixado em 5, devendo operar já na fase inicial de funcionamento.

A experiência tem indicado sensíveis vantagens na prática da pré-aeração, e na remoção da areia com sistema de difusão de bolhas grossas e movimento helicoidal. Estas vantagens têm sido a melhoria nas características do esgoto a ser tratado, uma eficiente remoção da areia, praticamente sem matéria orgânica, melhores condições de decantação e remoção de DBO.

O sistema de difusão é constituído de difusores não porosos de bolhas

grosseiras. Este mesmo tipo de difusores alimenta os canais de ligação entre as unidades do pré-tratamento e do tratamento primário.

No dimensionamento dos difusores e das linhas alimentadoras os seguintes critérios foram adotados:

□ demanda total de ar para pré-aeração: 0,75 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de esgoto

□ demanda de ar para retenção de areia: 0,15 a 0,45 m<sup>3</sup>/min. metro de caixa de areia.

O canal afluente às caixas de areia foi concebido de modo a assegurar uma distribuição uniforme da vazão para as diversas unidades; assim sendo, optou-se por um canal aerado de grandes dimensões, e conseqüentemente, com pequena velocidade de escoamento. Nestas condições, a perda de carga ao longo do canal para a condição de operação mais desfavorável (uma grande parte ou toda a vazão sendo alimentada de uma das extremidades do canal) será desprezível, e o canal se comportará como um reservatório. Objetivando ainda uma distribuição uniforme da vazão, as comportas instaladas nas entradas das caixas de areia foram dimensionadas para acarretar uma perda de carga relativamente elevada, da ordem de 0,30 m para a vazão de pico.

Os canais afluentes das caixas de areia serão também aerados, de grandes dimensões, com baixa velocidade de escoamento, e tal como o canal afluente se comportará como um reservatório. Imediatamente a jusante do canal efluente será instalado um vertedor em chapa metálica, em forma semelhante à de "bico de pato", para distribuir igualmente a vazão dos diversos módulos e minimizar a perda de carga.

Os difusores montados no fundo destes canais são do mesmo tipo dos previstos para as caixas de areia (de bolhas grossas).

Na concepção da caixa de areia, puseram-se de lado sistemas de remoção da areia retida que envolvessem, equipamentos permanentemente submersos, como correntes, parafusos transportadores, sistemas de sucção e de "air-lift", uma vez que, em face do elevado volume de areia a remover, tais sistemas exigiriam unidades especiais de manutenção preventiva e corretiva.

O sistema escolhido foi o de remoção por caçamba tipo "clam shell", operada por talha elétrica e comandada por um operador de uma cabina superior, móvel. Na operação prevista, após o levantamento da caçamba cheia, a cabina se desloca por uma monovia sobre a caixa de areia, até transferir-se para uma ponte rolante que descarrega a areia removida num "container". Estima-se uma remoção diária até cerca de 50 m<sup>3</sup>/d em Barueri e 40 m<sup>3</sup>/d em ABC.

QUADRO 5.2.1

CAIXA DE AREIA  
CARACTERÍSTICAS DE PROJETO  
(COM PRÉ-AERAÇÃO)

Parâmetro	Barueri	ABC
Número de unidades		
— 1.ª fase	4	5
— fase final	18	5
Dimensões (m)		
— largura	9,0	9,0
— comprimento	80,0	27,0
— altura d'água	4,5	4,5
Tempo de detenção, com vazão máxima (min)		
— 1.ª fase	22,0	8,9
— fase final	14,4	4,0
Demanda de ar		
— m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> esgoto	0,75	0,75
— m <sup>3</sup> /h (1.ª fase)	22900	16000

QUADRO 5.3.1

DECANTADORES PRIMÁRIOS  
CARACTERÍSTICAS DE PROJETO

Parâmetro	Barueri	ABC
Número de decantadores		
— 1.ª fase	8	8
— fase final	72	20
Dimensões (m)		
— largura	18,0	18,0
— comprimento	95,0	75,0
— altura d'água	3,5	3,5
Taxa de vazão superficial fase final, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d		
— com vazão média	50	48
— com vazão máxima	60	72
Tempo de detenção, fase final, horas		
— com vazão média	1,70	1,75
— com vazão máxima	1,40	1,17

O sistema de aeração contribui aqui com a vantagem de produzir uma areia limpa, praticamente isenta de matéria orgânica, que não necessita lavagem adicional. Assim, do "container" ou caminhão, a areia pode ser transportada diretamente para o local de aterro sanitário.

O Quadro 5.2.1 mostra as principais características das caixas de areia.

5.3 REMOÇÃO DE SÓLIDOS SEDI-MENTÁVEIS

Os estudos relativos à remoção dos sólidos sedimentáveis consideraram as duas formas clássicas de decantadores, circulares e retangulares. Do ponto de vista técnico estas duas opções são igualmente eficientes; do ponto de vista econômico os custos de construção civil somados aos custos preliminares dos equipamentos foram praticamente equivalentes. Em relação ao aproveitamento da área no entanto, os decantadores retangulares se apresentaram como vantajosos.

No dimensionamento dessas unidades adotaram-se taxas de projeto relativamente elevadas, mas compatíveis com a experiência verificada nas próprias estações existentes em São Paulo. Os decantadores deverão trabalhar com taxa de aplicação superficial de 48 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d, na vazão média, e 60 a 88 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d nas vazões máximas.

Estas taxas, embora acima das usualmente adotadas, foram também verificadas em estações de porte nos Estados Unidos e são já recomendadas pela Agência de Proteção Ambiental daquele país. Além disso, foi levado em conta que os esgotos são inicialmente pré-aerados, e como tal deverão apresentar melhores características de floculação e sedimentação de sólidos.

As eficiências de projeto para a decantação são 30% para remoção da DBO, e 60% para remoção dos sólidos em suspensão.

Em Barueri utilizou-se a taxa de 50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d para a vazão média, e 60 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d para a máxima, na fase final. Resultou deste último o número

de 8 decantadores por módulo (isto é, 8 na fase inicial e 72 na final), com as dimensões de 18 x 95 m, e altura d'água de 3,5 m. A relação comprimento/largura é adequado (5,28:1), bem como os tempos de detenção para a vazão média (1,7 h) e para a máxima (1,0 h).

Na ETE do ABC utilizou-se para a 1.ª fase a taxa de 48 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d para a vazão média, e 81,6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d para a máxima, resultando por módulo 4 decantadores com dimensões de 75 x 18 m, e altura d'água de 3,5 m, 8 decantadores na fase inicial e 20 na final. A relação comprimento/largura é igualmente adequada (4,17:1) bem como os tempos de detenção, 1,75 h para a vazão média e 1,0 h para a máxima.

Note-se que nas duas estações se manteve a mesma largura e profundidade dos decantadores, com o objetivo de padronizar os equipamentos de limpeza. Com efeito, o equipamento escolhido para raspagem do lodo decantado até aos poços de acumulação é do tipo ponte rolante deslocando-se sobre trilhos, ou rodas de borracha, evitando-se dessa forma o uso de partes mecânicas submersas, como no caso dos sistemas raspadores acionados por correntes, sendo possível padronizá-las para as duas ETEs.

A velocidade máxima da ponte e do seu raspador está especificada em 2,5 m/min, na operação de raspagem, e o dobro no sentido inverso, do que resultará um ciclo de transporte do lodo decantado até aos poços de acumulação de cerca de 45 minutos.

Como são três os poços em cada decantador, e se deseja retirar continuamente o lodo acumulado, para alimentar a linha de recalque de lodo bruto, dotada de uma válvula de gaveta motorizada operada por dispositivo temporizador, de modo que, em cada ciclo de raspagem os três poços sejam alternadamente esvaziados de lodo, cada um em período aproximado de 15 a 20 minutos.

Dessa forma pode-se ter uma operação contínua de recalque de lodos dos poços dos decantadores para os adensadores.

Atendendo à conveniência de usar equipamento de fabricação nacional no recalque do lodo, optou-se por bombas centrífugas de rotor recuado, que serão instaladas na própria galeria da tubulação de recalque dos decantadores.

Cada bomba deverá atender a um decantador (mais precisamente, a cada um dos três poços de cada decantador, que são esvaziados alternadamente), existindo para cada par de decantadores (ou de bombas) uma unidade de reserva, que em condições normais recalcará a espuma retida. Assim, na galeria de tubula-

ções os conjuntos elevatórios terão cada um 3 bombas, que podem recalcar lodo ou espuma mediante a operação de válvulas.

Visando maior flexibilidade e facilidade de manutenção haverá, nas duas estações, 2 barriletes de recalque de lodo, e um barrilete de espuma.

Embora seja possível retirar lodo dos poços dos decantadores com teor de sólidos de 4% e 5%, não se teve esta preocupação, uma vez que o lodo será bombeado para os adensadores, que por sua vez deverão requerer uma taxa elevada de vazão superficial, o que obriga a que se adicione ao lodo recalcado uma certa quantidade de água de diluição. Assim, é possível retirar lodo do decantador com concentração de até 1%, sem quaisquer problemas.

Com a finalidade de prevenir que o teor de sólidos nas linhas de lodo primário apresente variações apreciáveis, parte da vazão de diluição será adicionada nas extremidades de montante dos barriletes do lodo primário.

Esta água de diluição será captada do efluente da estação e bombeada para a galeria de tubulação dos lodos primários e para os adensadores.

O Quadro 5.3.1 indica as características dos decantadores primários nas duas ETEs.

Em relação à espuma considerou-se uma quantidade a remover da ordem de 15 m<sup>3</sup>/d para Barueri, e 13 m<sup>3</sup>/d em ABC, na 1.ª fase, com base na produção verificada nas estações hoje funcionando em São Paulo.

A espuma formada nos decantadores será arrastada na superfície d'água até uma calha coletora, na extremidade de montante do decantador, passando para um poço de espuma (um poço para cada dois decantadores adjacentes), de onde será recalçada para os digestores.

Será feita uma diluição da espuma normalmente nos poços de espuma pela adição de água, e além disso será adicionada água nas tubulações de espuma para promover sua lavagem após o bombeamento. Na verdade a acumulação, o recalque, e o destino final da espuma constituem sempre pontos problemáticos na operação das estações de tratamento. Algumas instalações têm tido transtornos com acumulação de espuma nas tubulações, usando vapor ou água quente para facilitar seu transporte. No presente caso optou-se por uma solução mais simples, aproveitando o uso de água de diluição, já existente na área, para recalcar uma espuma menos densa e mais diluída.

## 6. TRAMENTO SECUNDÁRIO

O processo dos lodos ativados foi inicialmente escolhido pela sua ele-

vada e comprovada eficiência e flexibilidade operacional, tendo os ensaios de tratabilidade indicado sua viabilidade.

As possíveis variações do processo foram examinadas e comparadas, avaliando-se os efeitos de diversos equipamentos, taxas de aplicações, formatos de tanques, e características peculiares do esgoto a ser tratado. De modo particular foi examinada sua aplicação em sistemas de mistura completa e de fluxo a pistão, este último aplicado, também, no caso particular de unidades de fluxo orbital.

Destes sistemas, optou-se pelo de mistura completa, por oferecer melhor distribuição do esgoto efluente, lodo ativado recirculado e oxigênio no tanque de aeração, maior capacidade de absorção de cargas de ponta e distribuição uniforme do fator de carga pelo tanque de aeração.

### 6.1 AERAÇÃO

Dentro desta escolha conceberam-se os tanques de aeração dotados de canais laterais longitudinais, um dos quais recebe o esgoto decantado mais o lodo recirculado e o distribui uniformemente para o interior do tanque, enquanto o canal oposto recolhe esta mesma vazão e a encaminha aos decantadores secundários; o oxigênio, por sua vez, é distribuído uniformemente no interior da unidade.

Foram considerados nos estudos iniciais os seguintes equipamentos de aeração: aeradores mecânicos superficiais, aeradores de turbina com injeção de ar na parte inferior dos tanques, e injeção de ar difuso.

Os aeradores mecânicos superficiais apresentam uma vantagem principal, que é sua relativa simplicidade, robustez, e fácil manutenção. No entanto, esta vantagem que existe realmente nas estações de pequeno e médio porte (eliminando dutos de ar, válvulas, sopradores, etc.), é praticamente perdida quando se trata de estações de grande porte, particularmente com vazões tão elevadas como as que se verificam em São Paulo.

Uma estimativa feita para a ETE Barueri indicou a necessidade de 525 aeradores superficiais de 150 cV cada, para o fim do plano, para as condições técnicas de fator de carga = 0,35 d<sup>-1</sup>. Este exagerado número de unidades praticamente obriga a se ter uma manutenção preventiva diária e trabalhosa desses equipamentos, incluindo lubrificação e substituição de óleo, operações que embora relativamente simples assumem importância muito maior na rotina diária de manutenção. Já a experiência verificada com domos po-

## PROCESSO

rosos indica que a manutenção é concentrada na casa de compressores, requerendo os difusores uma manutenção preventiva a cada 5 e até mesmo 10 anos nas grandes estações do mundo.

Além deste aspecto, o sistema de ar difuso não contribui com impacto ambiental na área (como por exemplo, poderia ocorrer com os aeradores em relação a ruído e aerossóis), e permite flexibilidade na distribuição de ar nos tanques, por controle nos compressores, ou nas válvulas de alimentação das linhas, sem necessitar variar o nível d'água no interior da unidade ou instalar equipamentos mais complexos.

Em relação à energia requerida para a introdução do oxigênio necessário, é interessante observar que em geral os sistemas por ar difuso tem maior capacidade de introdução de oxigênio que os de aeração mecânica superficial, em condições padrões de teste em água limpa, requerendo portanto menor potência e consumindo menos energia (em termos de  $\text{kg O}_2/\text{kWh}$ ). Esta vantagem é, no entanto, parcialmente perdida, uma vez que os coeficientes "alfa" que relacionam a transferência de oxigênio em esgotos e em água limpa costumam ser maiores no caso de aeradores superficiais mecânicos do que no de difusores porosos ("alfa" é ainda função do tipo de esgoto a tratar, das características do tanque de aeração, e do tipo de aerador ou difusor usado). Enquanto para os difusores "alfa" varia de 0,40 a 0,80, para os aeradores superficiais adquire valores entre 0,80 e 0,95. Como os sistemas de ar difuso podem transferir em água limpa de 2 a 4  $\text{kg O}_2/\text{kWh}$  para os aeradores superficiais, ainda resultaram em torno de 20% mais eficientes em termos de transferência de oxigênio por kWh no meio de esgoto a tratar, para o caso das ETEs de ABC e Barueri.

Considerando as características de distribuição do ar e agitação do meio líquido, os difusores porosos apresentam boas eficiências, principalmente da forma como foi concebida sua localização: no fundo dos tanques, ao longo de toda a largura e extensão, igualmente distribuídos. Esta parece ser a melhor concepção para a melhor distribuição do ar e obtenção de uma concentração uniforme de oxigênio dissolvido em todo o meio.

Aspectos relacionados à manutenção preventiva dos equipamentos de aeração, à flexibilidade operacional para controle de transferência de oxigênio, ao número e tamanho das unidades, e ao impacto ambiental na área, tornaram mais favoráveis o uso de difusores porosos.

Outro aspecto favorável a este tipo de difusores foi a profundidade dos tanques de aeração.

Quatro alternativas foram analisadas com referência à profundidade dos tanques: 4, 5, 6 e 8 metros.

A profundidade de 4 m é usual nos sistemas acionados por aeradores mecânicos superficiais, e seria, no caso desta opção, tecnicamente a mais indicada. No entanto, limitações relativas à área disponível afastaram a possibilidade desta solução, tanto em Barueri como em ABC.

A profundidade de 5 m seria usada apenas no caso da adoção de um sistema de fluxo orbital, que não veio a ser a solução adotada.

As soluções com 6 e 8 m foram particularmente estudadas tanto para a alternativa inicial de aeração mecânica como para a de ar difuso; nos dois casos são muito limitadas as experiências com tanques de 8 m de altura de água, não sendo mesmo usual; desta forma fixou-se, assim, a profundidade útil dos tanques em 6 m, adotando-se o formato retangular em planta. Esta profundidade é também comum para os aeradores mecânicos, enquanto favorece os difusores em relação ao aumento de sua eficiência.

Os tanques de aeração foram dimensionados com base na fixação de um fator de carga e de um teor de SSTA, verificando-se o valor dos demais parâmetros típicos do processo, para uma remoção de 90% da DBO.

O Quadro 6.1.1 indica os principais parâmetros e dimensões resultantes para as unidades de aeração.

Procurou-se projetar para um fator de carga de  $0,40\text{d}^{-1}$  (Barueri) a  $0,35\text{d}^{-1}$  (ABC), e um teor de SSTA de 3.000 mg/l. No caso de serem 75% dos sólidos voláteis, resulta em Barueri um tempo de aeração de 5,3 h para a vazão média, e em ABC 6,6 h (1.ª fase). Estes números são razoáveis para estações deste porte, e parecem adequados.

O dimensionamento considerou também o fato de nos ensaios de tratabilidade feitos para o estudo de ABC não se ter conseguido concentração de sólidos voláteis no reator acima de 1.800 mg/l, embora a remoção da DBO fosse satisfatória. Naqueles ensaios a fração de voláteis não foi superior a 50%.

Para a hipótese dessa fração se verificar no caso real, novo fator de carga é recomendado, de  $0,42\text{d}^{-1}$ , e a concentração de SSTA se eleva a 3.400 mg/l, enquanto a de SSVTA se mantém em 1.870 mg/l. É assim possível manter-se as dimensões dos tanques modificando-se apenas condições operativas.

No cálculo da necessidade de oxigênio a se introduzir nos tanques de

aeração, levou-se em conta as condições e variações de temperatura, de variação do oxigênio dissolvido, assim como os fatores que tipicamente intervêm na transferência do oxigênio.

O oxigênio será fornecido por compressores centrífugos, sendo o seu dimensionamento uma função dos difusores a serem utilizados. Esta eficiência no caso de difusores porosos pode chegar a valores da ordem de 30%.

A escolha de compressores de ar do tipo centrífugo multiestágio para a difusão de ar nos tanques de aeração, foi baseada na experiência obtida em estações de tratamento de esgotos de grande porte, que têm sido recentemente construídas nos países de tecnologia avançada nesta especialidade.

A experiência nos Estados Unidos e na Europa demonstrou que os compressores que melhor resultados têm apresentado são os compressores centrífugos de multiestágios ou compressores axiais. Os compressores centrífugos de multiestágios são os que melhor rendimento apresentam para vazões entre  $\sim 100.000 \text{ m}^3/\text{h}$  e  $\sim 221.000 \text{ m}^3/\text{h}$ , enquanto que os axiais são mais eficientes para valores maiores do que 221.000  $\text{m}^3/\text{h}$ .

A seleção de compressores centrífugos de multiestágios para os primeiros módulos construtivos das ETEs de Barueri e o ABC foi baseada, também, nas seguintes considerações:

- Maior eficiência das máquinas.
- Confiabilidade e baixa manutenção.
- Baixo nível de ruído ( $< 89$  dBA), sem necessidade de isolamentos acústicos muito elaborados.
- Acoplamento direto, de maior eficiência e dispensando engrenagens de redução.

e) Maior flexibilidade de operação. O valor escolhido para a vazão das máquinas (100.000  $\text{m}^3/\text{h}$ ) e a quantidade delas previstas para cada estação (4 máquinas, sendo 3 em serviço e 1 permanentemente em "stand-by") permitirá grande flexibilidade na aeração, visto que, com a variação das posições das palhetas diretrizes das máquinas em serviço e/ou a parada de máquinas em horas de menor demanda, poderão ser atendidas todas as vazões necessárias, da máxima à mínima. Estas vazões variarão de acordo com as condições dos afluentes às estações, temperatura, etc.

Para os módulos futuros, ou serão adquiridas máquinas do mesmo tipo, ou, dependendo das vazões reais registradas na 1.ª fase de operação das

**QUADRO 6.1.1**

**TRATAMENTO BIOLÓGICO  
CARACTERÍSTICAS DE PROCESSO E DOS  
TANQUES DE AERAÇÃO (1.ª FASE)**

Parâmetro	Barueri	ABC(*)
DBO, t/d	144	109
Fator de carga, d <sup>-1</sup>	0,40	0,35 (0,42)
SSTA, mg/l	3000	3000 (3400)
SSVTA (mg/l)	2250	2250 (1870)
Tempo de detenção, h	5,30	6,60
Retorno de lodo, %	60	75 (55)
Número de tanques	8	8
Profundidade útil, m	6,00	6,00
Largura, m	25,50	25,50
Comprimento, m	130,00	115,00

(\*) Números em parênteses indicam alternativa.

**QUADRO 6.1.2**

**VAZÕES DE AR MÁXIMAS ESTIMADAS PARA A  
1.ª FASE DAS ETES BARUERI E ABC**

Discriminação	Barueri (Nm <sup>3</sup> /h)	ABC (Nm <sup>3</sup> /h)
Canal Efluente Elevatória Final	1680	3629
Canal Afluente Caixas de Areia	1294	3629
Caixas de Areia	22900	3645
Canal Efluente Caixas de Areia	855	2632
Canal Afluente Decantador Primário	4973	4973
Canal Efluente Decantador Primário	3283	3286
Canal Afluente Tanque de Aeração	11544	10212
Tanque de Aeração	248000	211000
Canal Efluente Tanque de Aeração	5106	5106
Canal Afluente Decantador Secundário	6394	6394

instaladas seriam utilizadas no balanceamento das vazões máximas e mínimas.

Aproveitando a capacidade dos compressores não utilizada nos tanques de aeração, as próprias máquinas que alimentarão estes tanques alimentarão também os canais aerados de afluentes e efluentes e as caixas de areia, cuja vazão total na ETE constituirá somente cerca de 13% da vazão total necessária. Isto tornaria antieconômica a utilização de compressores independentes para estas caixas de areia e para os canais.

O Quadro 6.1.2 mostra as vazões máximas previstas para as diversas utilizações de ar na 1.ª fase de construção de Barueri e ABC.

Para atender a estas vazões foram escolhidos 4 compressores de ... 102.000 Nm<sup>3</sup>/h para cada ETE, sendo que 3 dos compressores estarão normalmente em serviço e o quarto será o reserva para substituir qualquer máquina que tiver que parar para manutenção.

A escolha de máquinas de 102.000 Nm<sup>3</sup>/h (60.000 SCFM) deve-se ao fato de serem unidades de tamanho padrão de vários fabricantes internacionais, e para se assegurar que seria mantida a flexibilidade já mencionada de se poder atender às demandas mínimas com a diminuição de vazão nas máquinas e/ou parada de uma das unidades. Máquinas de menor capacidade foram consideradas, mas se verificou que, embora aumentassem a flexibilidade, envolveriam custos maiores das próprias unidades e das instalações, introduzindo complexidade desnecessária no projeto. Além disso, conjuntos deste porte estão sendo usados em diversos projetos de tratamento, com ótimos resultados.

Os compressores serão adquiridos completamente equipados com motores elétricos, filtros de ar, silenciadores, e acessórios.

Como já foi exposto, a difusão de ar nos tanques de aeração será feita por difusores cerâmicos porosos, tipo bolha fina. As características do material dos difusores permitem uma melhor difusão do ar, mas devido à pequena dimensão dos poros dos difusores eles são mais sujeitos a entupimentos, se existirem partículas de diâmetros maiores do que 0,3 no ar a eles alimentado. Por esse motivo, o ar será duplamente filtrado, antes de entrar nos compressores e, para evitar que partículas provenientes de corrosão das tubulações na saída dos compressores e que alimentarão os tanques de aeração venham a entupir os difusores, estas tubulações deverão ser de materiais não corrosíveis.

duas ETes, é possível que se torne viável a compra de menor quantidade de máquinas de maior vazão, do tipo

axial. Com este tipo de máquinas se poderia então atender à demanda normal, e as máquinas centrífugas já



## PROCESSO

Para os difusores utilizados nos canais afluente e efluente e nas caixas de areia são do tipo bolha grossa, cujas aberturas serão de diâmetros suficientemente grandes para não serem entupidadas por pequenas partículas originadas por possível corrosão dos tubos, estes poderão ser de aço carbono comum.

### 6.2 DECANTAÇÃO SECUNDÁRIA

A decantação secundária é prevista em unidades circulares, com extração de lodo no fundo por dispositivo de sucção. O lodo assim recolhido é recirculado para o tanque de aeração por meio de bombas centrífugas de velocidade variável, sendo o excesso encaminhado a densadores por flotação.

No dimensionamento destes decantadores levaram-se em conta taxas de vazão superficial ( $25 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$  a  $36 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ , em ABC e Barueri, respectivamente), bem como taxas de aplicação de sólidos, resultando, na 1.ª fase, 12 decantadores em Barueri e 12 em ABC, e 108 e 30 na fase final, com diâmetro de 46 m.

O Quadro 6.2.1 mostra o comportamento esperado nos decantadores secundários para as condições operativas de projeto.

A retirada do lodo se fará mediante carga hidráulica exercida através de tubos de sucção de lodo convenientemente dispostos nas treliças que compõem os braços do removedor. Estes tubos descarregarão numa caixa central receptora, localizada na

parte superior da treliça; a descarga de cada tubo, por sua vez, conterà um dispositivo de acionamento manual para controle do escoamento. Da caixa central o lodo escoará por gravidade, através do tubo de saída, localizado no centro do tanque, para as elevatórias de retorno de lodo.

Haverá quatro elevatórias de retorno de lodo para a 1.ª fase da ETE, que serão instaladas entre os decantadores secundários e contarão, cada um, com três bombas centrífugas de velocidade variável do tipo fluxo misto.

As bombas foram dimensionadas para uma variação de vazão de lodo recirculado entre 30% e 100% da vazão nominal da estação, existindo assim boa flexibilidade operacional.

O operador marcará, manualmente, a relação de retorno desejada, nos equipamentos de controle; esta relação será mantida automaticamente mediante combinação de instrumentos instalados nos medidores de vazão afluente da Estação de Tratamento e de lodo de recirculação, e variador de velocidade das bombas. Este sistema funcionará da seguinte forma: um sinal proveniente do medidor de vazão afluente será enviado até um conversor que comandará os variadores de velocidade das bombas, após comparação com sinal proveniente do medidor da vazão de retorno do lodo.

Nos decantadores secundários previu-se também um sistema de remoção de escuma. A escuma retida é bombeada por bombas tipo "Moino",

localizadas nas galerias de tubulações, para os digestores.

Na área do tratamento biológico previu-se ainda um sistema de captação e distribuição de água assim dividido: água de lavagem, água potável, e água de quebra-espuma.

O sistema de água de lavagem tem a função de possibilitar a limpeza das unidades e eventuais desentupimentos de canalizações.

A água de lavagem será captada nos canais do efluente final da ETE e bombeada para os locais necessários, onde serão instalados hidrantes de diâmetro  $1\frac{1}{4}$ " com dispositivo para engate rápido de mangueiras.

Foram previstos hidrantes nos passadiços das caixas de areia, dos decantadores primários, dos tanques de aeração, dos decantadores secundários e de todos os canais afluentes e efluentes. Os hidrantes serão instalados a cada 30 m e alimentados por tubulações sob os passadiços.

Também foi prevista a instalação de água de lavagem dentro das galerias de tubulações dos decantadores secundários; as ligações de engate rápido ficarão localizadas na área das bombas e nos locais próximos à entrada das tubulações na galeria. Nestas áreas as tubulações de lodo e escuma terão flanges cegos munidos com ligações de engate rápido, também de  $1\frac{1}{4}$ " de diâmetro, para permitir a admissão da água de lavagem.

Paralelamente ao sistema de água de lavagem será instalada uma rede de tomadas de engate rápido para

**QUADRO 6.2.1.**  
COMPORTAMENTO DOS DECANTADORES SECUNDÁRIOS

Características	Barueri		ABC		
	1.ª Fase	Fase Final	Hipótese 1 1.ª Fase	Hipótese 2 1.ª Fase	Fase Final
SV/ST	75%	75%	75%	75%	75%
SS Afluente, mg/l	3.000	3.000	3.000	3.400	3.000
Retorno de lodo	60%	60%	60%	74%	60%
Taxa vazão sup. $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$					
p/Q m	36	34	25,2	25,2	25,2
p/Q máx.	59	40	42,9	42,9	37,8
Taxa apl. sól. $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$					
p/Q m	173	161	121	149	121
p/Q máx.	285	193	185	210	170
Tempo de det., h					
p/Q m	2,7	2,9	3,8	3,8	3,8
p/Q máx.	1,6	2,4	2,2	2,2	2,5

mangueira de 19,0 mm (3/4"), em número idêntico e localização próximo às tomadas de água de lavagem. Este sistema tem por finalidade de limpar externamente os eventuais derrames, respingos ou extravazões decorrentes de manutenção das galerias.

A rede de água potável alimentará também o sistema de selagem das bombas de retorno de lodos ativado e da retirada de lodo em excesso. Para este fim, serão instaladas nas proximidades de cada sala de bombas tanques alimentados por água potável mediante descarga livre, acima do nível de extravazão e válvula de bóia. Estas precauções serão tomadas para evitar contato de água contaminada com água potável ("cross connection"). A selagem será feita por meio de bombas que sucionam dos referidos tanques.

Além dessas duas redes, se previu também um sistema de água para quebra-espuma. Em todos os canais afluentes e efluentes aerados, e ao longo das paredes laterais dos tanques de aeração, serão colocados dispositivos para quebra-espuma, formados por bocais instalados em tubulações de ferro fundido.

A água para quebra-espuma será captada no efluente da ETE, sendo filtrada e bombeada para os locais necessários.

## 7. TRATAMENTO DO LODO

Várias alternativas foram estudadas em relação ao tratamento e destino final do lodo, englobando:

a digestão do lodo primário e do lodo em excesso, sem adensamento prévio;

o adensamento do lodo primário por gravidade, e do lodo em excesso por flotação, antes da digestão anaeróbia;

a homogeneização do lodo nos digestores por agitadores mecânicos, recirculação do lodo, e do gás produzido;

diversas formas de digestores (tronco-cônicos, achatados, ovóides);

diversas formas de secagem mecanizada e de lançamento do lodo digerido em lagoa de lodo.

Desses estudos resultou, em primeiro lugar, a conveniência do adensamento em unidades separadas (por gravidade para o lodo primário, e por flotação por ar dissolvido para o lodo em excesso), previamente à digestão.

Dentro desta concepção de se realizar um adensamento inicial em unidades separadas, conseguiu-se uma redução no número de digestores, e no próprio custo total do sistema de tratamento do lodo, ainda que com o

acréscimo das unidades de adensamento.

As quantidades estimadas de lodo a tratar, de acordo com o balanço de massa, são na 1.ª fase (em peso de sólidos secos):

em Barueri, 142 t/d de lodo bruto primário e 71 t/d de lodo ativado em excesso;

em ABC, 86 t/d de lodo primário e 48 t/d de lodo em excesso.

### 7.1 ADENSAMENTO POR GRAVIDADE

O critério básico de dimensionamento foi o da taxa de aplicação de sólidos, admitida, em condições normais, inferior a 100 kg/m<sup>2</sup>.d, e em condições de pico a 150 kg/m<sup>2</sup>.d (peso de sólidos secos).

As taxas realmente empregadas, no entanto, resultaram inferiores a esses valores, pela conveniência de se adotarem para os adensadores do lodo da ETE ABC as mesmas dimensões dos da ETE Barueri. Na verdade, esta preocupação em padronizar os equipamentos foi mantida tanto quanto possível, em benefício dos serviços futuros de manutenção.

Os adensadores foram ainda dimensionados levando em conta o máximo de carga de sólidos, fixado em 1,75 da carga média, verificando-se as condições quando uma ou duas unidades estiverem fora de operação. Resultaram para cada estação, inicialmente, 4 adensadores com as dimensões principais seguintes:

- diâmetro = 29 m
- altura d'água lateral = 3,5 m
- inclinação do fundo = 15%

Na fase final da vida do projeto, essas unidades se elevam a 36 em Barueri e 8 em ABC.

No dimensionamento dessas unidades levou-se em conta também a necessidade de manter uma taxa de vazão superficial mínima, de 20 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d, com a finalidade de evitar o aparecimento de condições sépticas e de maus odores. A fim de se manter esta taxa foi necessário adicionar água de diluição ao lodo bruto recalcado dos decantadores primários; usou-se como fonte o próprio efluente secundário da estação.

O Quadro 7.1.1 mostra as principais características resultantes do projeto.

Como meta do adensamento do lodo primário deseja-se obter em lodo final com teor de sólidos de 7,5%, valor normalmente obtido nos adensadores existentes das estações de Pinheiros e Vila Leopoldina, em São Paulo.

Para o recalque do lodo adensado para os digestores previu-se o uso de bombas do tipo de êmbolo, existindo uma elevatória para cada grupo de 4 adensadores, e 4 bombas para cada elevatória. A concepção de um grupo elevatório para cada 4 adensadores visa facilitar o arranjo geral das unidades, na forma construtiva e operativa, pois cada grupo elevatório se situa exatamente no centro de um quadrado envolvido por 4 adensadores.

As bombas serão operadas manualmente, através da observação visual das características da interface entre o lodo adensado e o sobrenadante. Isso será feito através da imersão de um corpo de prova dotado ou não de iluminação, o qual de-

QUADRO 7.1.1

#### CARACTERÍSTICAS DOS ADENSADORES POR GRAVIDADE (1.ª FASE)

Parâmetro	Barueri	ABC
Lodo a ser adensado		
média, ton/d	142	86
máxima, ton/d	249	150
Vazão de alimentação (total, m <sup>3</sup> /s)	0,6	0,6
Número de unidades	4	4
Taxa de aplicação de sólidos, kg/m <sup>2</sup> .d		
média	54	32
máxima	94	57
máxima com um tanque fora de operação	126	76
Taxa de aplicação superficial, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	19,5	19,5

saparece quando atinge a camada de lodo adensado. A partir daí o operador aciona as bombas de êmbolo, aumentando ou diminuindo o número de pulsações.

Na escolha das bombas previu-se a possibilidade do bombeamento do lodo com teor de sólidos variando de 6% (valor mínimo admitido) até eventualmente um valor máximo de 12%, sendo 7,5% o valor do projeto.

O barrilete das tubulações foi projetado de tal forma que cada duas bombas possam servir a duas unidades de adensamento; previram-se ainda na galeria das bombas, tubulações de água de lavagem e de água potável de serviço.

7.2 ADENSAMENTO POR FLOTAÇÃO

O adensamento por flotação tem sido praticado com grande eficiência, nos casos em que as partículas a serem adensadas tendem a flutuar naturalmente, ou quando apresentam uma resistência à compactação no adensamento por gravidade.

Seu emprego tem ocorrido com bastante freqüência no caso de lodo ativado, conseguindo-se um lodo adensado com maior concentração de sólidos do que no caso do adensamento por gravidade. Na verdade, a experiência já demonstra ser vantajoso praticar o adensamento do lodo nas grandes estações em unidades separadas, para o lodo primário e para o lodo em excesso, ao invés de tratá-lo de forma conjunta nesta parte inicial do tratamento de fase sólida.

O objetivo da flotação é separar os sólidos do esgoto, enquanto se movem numa direção vertical, pela união de minúsculas bolhas de ar às partículas de sólidos. Unidos a essas bolhas de ar os sólidos passam a ter uma densidade proximalmente igual ou inferior à da água e tendem a flutuar para a superfície. Conseguem-se bolhas com diâmetro da ordem de 80 microns pela liberação do ar de uma emulsão (ar, água) que foi anteriormente pressurizada; a liberação desta emulsão em um tanque com pressão atmosférica (praticamente), diminui a solubilidade do ar, que é liberado da solução em bolhas minúsculas para se agregar às partículas sólidas.

Esta técnica, de flotação por dissolvido, foi escolhida para o projeto das duas estações.

Neste caso, previu-se manter uma recirculação constante nos tanques de flotação, e obter a emulsão (ar, água) através de injeção de ar no sistema de recirculação; o efluente recirculado e o ar são mantidos por alguns minutos em um tanque pressurizado de retenção, sendo em se-

guida liberados nos tanques de flotação.

O lodo flotado nos tanques será removido por meio de raspadores de superfície para calhas coletoras, de onde é encaminhado para poços de lodo para ser bombeado para os digestores. O efluente líquido da flotação é reconduzido à entrada da estação.

Quaisquer materiais decantados no fundo dos tanques serão removidos por raspadores de fundo e conduzidos para os poços de lodo.

Embora maior eficiência seja obtida com a adição de polímeros, não se previu inicialmente a adição de nenhum produto, evitando-se maior complexidade de operação e diminuição de custos. O projeto, prevê a possibilidade de no futuro ser feita esta adição.

Estima-se o recolhimento do lodo sobrenadante com teor de sólidos de 4% já na fase inicial, e 5% na fase final, se forem utilizados polímeros; a captura dos sólidos é estimada em 85%. Todos estes valores têm sido conseguidos nas estações bem operadas.

Como critério de dimensionamento dos tanques de flotação fixou-se uma carga máxima de sólidos de 117 e 234 kg/m<sup>2</sup>.d, respectivamente para as hipóteses de flotação sem e com o auxílio de polímeros, que são as condições previstas para as fases inicial e final do projeto.

Tendo em vista o interesse em se ter unidades idênticas para tratar o

lodo de Barueri e do ABC, as taxas efetivamente aplicadas nos tanques de flotação não são as mesmas nas duas estações. Preferiu-se assim trabalhar com taxas diferentes, mas manter-se a padronização dos equipamentos nestas unidades. O Quadro 7.2.1 resume as principais características de projeto dos tanques de flotação.

O recalque para os digestores será feito por meio de bombas tipo êmbolo, localizadas por grupo elevatório entre cada quatro unidades de flotação. Previram-se 4 bombas por grupo, com capacidade unitária de vazão de 10 l/s. Sua operação deverá ser automatizada, sendo ligadas e/ou desligadas de acordo com os níveis de lodo máximo e mínimo nos poços de sucção.

7.3 DIGESTÃO

Tal como descrito anteriormente, as alternativas analisadas indicaram a maior conveniência da prática da digestão anaeróbia com pré-adensamento do lodo.

Em relação aos digestores propriamente ditos, aquelas alternativas levaram em conta os seguintes aspectos principais:

□ formato — foram comparados por um pré-dimensionamento e uma avaliação preliminar de custos os tipos ovóides (prática alemã), de topo e fundo cônicos, e de topo e fundo pouco inclinados ou achatados;

□ agitação do meio — com uso de sistemas mecânicos, de recircula-

QUADRO 7.2.1

CARACTERÍSTICAS DOS ADENSADORES POR FLOTAÇÃO (1.ª FASE)

Parâmetro	Barueri	ABC
Lodo a ser adensado, ton/d		
médio	71	48
máximo	106	72
Vazão de lodo a ser adensado, com teor de sólidos de 0,75%, m <sup>3</sup> /s	0,11	0,07
Recirculação do efluente	200%	200%
Número de tanques	12	12
Dimensões dos tanques, m		
comprimento	15,25	15,25
largura	6,10	6,10
altura útil, média	3,65	3,65
Taxa de aplicação de sólidos, kg/m <sup>2</sup> .d		
média	63	64
máxima	95	96
máxima, com um tanque fora de operação	104	110

ção do gás, e de recirculação do lodo;

□ eficiência — sistema de baixa e alta taxa, sem e com aquecimento.

Na análise preliminar de custos os digestores de formato baixo e largo, com topo e fundo achatados ou pouco inclinados, mostraram-se vantajosos. Embora não se considerasse o fator custo como condicionante para a escolha destes digestores, eles têm no entanto a vantagem de serem bastante adequados para sistemas de agitação por recirculação de gás.

Esta forma de agitação, por sua vez, tem proporcionado uma boa mistura e homogeneização do meio, o que é particularmente desejado nos processos de digestão com alta taxa, que se procurou adotar.

Tendo em conta esses fatores, determinou-se que os digestores seriam dimensionados para trabalharem a alta taxa, com recirculação de gás, com tampa fixa em abóbada, em dois estágios.

Em relação à conveniência ou não de se utilizar aquecimento no processo, tentou-se obter resultados nas ETEs Pinheiros e Vila Leopoldina que pudessem indicar esta necessidade. No entanto, embora em ambas os resultados operacionais sejam bons e não se utilize aquecimento do lodo, o fato de seus digestores estarem recebendo ainda cargas aquém de sua capacidade de projeto não permite concluir que o aquecimento é desnecessário.

Preferiu-se assim recomendar a construção dos digestores inicialmente sem aquecimento, prevendo-se no entanto possibilidade técnica para instalação futura dos trocadores de calor; uma avaliação de quantidade de gás a ser produzido mostrou ser suficiente como fonte de energia para as necessidades de aquecimento.

Na escolha dos critérios de dimensionamento levaram-se em conta os ensaios de tratabilidade realizados com amostras decantadas de matéria sólida do Rio Tamanduateí, simulando o lodo de ABC. Estes ensaios haviam indicado que o lodo primário em ABC deveria digerir de forma mais lenta, dispondo de maior quantidade de sólidos voláteis.

Em vista destes resultados, decidiu-se adotar para ABC taxas de aplicações de sólidos voláteis mais baixas que as usadas em Barueri. Além disso, enquanto em Barueri os digestores podem receber indistintamente lodo primário ou em excesso, em ABC optou-se inicialmente por uma digestão em separado do lodo primário e do ativado, mantendo-se no entanto flexibilidade para um tratamento conjunto.

Assim, os digestores primários de Barueri foram dimensionados com

taxas de aplicação de 2,3 kg SSV/m<sup>3</sup>.d, e tempo de detenção de 19 dias, na 1.ª fase. Já os do ABC foram dimensionados com taxas mais conservadoras de 1,9 kg SSV/m<sup>3</sup>.d, para o lado primário, e 1,6 para o em excesso, com tempos de detenção respectivamente de 30 e 19 dias, na 1.ª fase, para as unidades primárias.

Os digestores secundários deverão ter a finalidade de propiciar acumulação de lodo e maior adensamento do efluente a ser descartado. Até certo ponto as lagoas de lodo, que constituirão o destino final do lodo digerido, poderão realizar esta tarefa, motivo pelo qual um menor número de digestores secundários foi considerado. Para o dimensionamento desses digestores secundários adotou-se o critério de mantê-los com as mesmas dimensões dos primários, e reunir os primários e secundários em grupo de quatro, de modo a poder, se desejado, utilizar essas unidades indistintamente como digestores primários ou secundários.

Com esse objetivo levou-se em conta as necessidades de flexibilidade de tubulações e grupos motorbomba, que foram também padronizados. Com fins de manter padronização de unidades e equipamentos, fez-se com que os digestores para o lodo da ETE ABC tivessem as mesmas dimensões dos da ETE Barueri, isto é, 33 m de diâmetro e 10 m de profundidade junto à parede. É possível que para módulos futuros essas dimensões venham a ser modifica-

das, bem como o número de digestores aqui previsto, de acordo com a experiência obtida na operação dos módulos iniciais, quando então se conhecerá dados reais da matéria sólida a ser tratada.

O Quadro 7.3.1 indica as características principais resultantes do dimensionamento.

Em relação à operação destas unidades, procurou-se oferecer o máximo de flexibilidade. Assim, cada conjunto de 4 digestores será provido de uma área interna comum onde se localizam bombas e tubulações, sendo que os digestores de cada conjunto serão interligados, de modo a permitir sua operação nas seguintes condições:

a) Todos operando como digestores anaeróbios primários de alta taxa:

Nesse caso o nível de lodo será mantido constante nas quatro unidades. Na medida em que o lodo é suprido aos digestores, o lodo digerido será expulso e automaticamente fluirá por gravidade para o poço de sucção da elevatória de lodo digerido; haverá uma elevatória para cada conjunto de digestores. O lodo digerido, a partir do poço de sucção, será bombeado para as lagoas de lodo por meio de bombas de deslocamento positivo, tipo de êmbolo.

b) Três ou dois digestores operando como primários e um ou dois como secundários, tal qual um sistema de digestão anaeróbia de dois estágios de alta taxa:

Nesse caso, quando dois estive-

QUADRO 7.3.1.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DOS DIGESTORES

Características	BARUERI		ABC			
	(lodo primário + lodo excesso)		Para o lodo Primário		Para o lodo em Excesso	
	Primário	Secundário	Primário	Secundário	Primário	Secundário
Lodo afluente, m <sup>3</sup> /d (fase inicial)	3.118	—	973	—	1.014	—
Teor de sólidos (mistura)	6	—	7,5	—	4	—
Número						
fase inicial	6	2	3	1	2	2
fase final	48	16	9	3	6	2
Tempo de Detenção (dias)						
fase inicial	19	6	30	10	19	19
fase final	18	6	36	12	23	8
Dimensões, m						
diâmetro	33	33	33	33	33	33
profundidade útil	10	10	10	10	10	10

rem sendo operados como secundários, por exemplo, o nível de lodo nos dois primários será mantido o mesmo, constante, enquanto que o nível nos secundários será mantido a aproximadamente 1 m abaixo. À medida que o digestor primário seja alimentado, o lodo fluirá dele, automaticamente, por gravidade para os secundários, os quais, por sua vez, expulsarão pelo mesmo processo o lodo digerido para o poço de sucção da elevatória de lodo digerido. O lodo digerido, a partir do poço de sucção, será então bombeado para as lagoas de lodo por meio de bombas de deslocamento positivo, tipo de êmbolo.

Em qualquer dos casos, o lodo primário adensado e o excesso de lodo ativado adensado serão bombeados para cada conjunto de 4 digestores por meio de tubulações independentes, de ferro fundido, de 200 mm de diâmetro. As linhas em separado de lodo ativado em excesso adensado e lodo primário adensado permitirão a alimentação independente para cada digestor e maior flexibilidade.

Cada digestor será equipado com um sistema de retirada de sobrenadante, projetado de modo a permitir retiradas em diferentes níveis, sempre mantendo o nível constante dentro do tanque.

A retirada de lodo digerido pode ser feita de cada digestor, dentro da concepção de flexibilidade adotada, bombeando-se o lodo para o sistema de disposição final em lagoas.

A existência de cavas de areia próximas ao local da Estação de Barueri propicia uma solução relativamente simples de destino final do lodo, não sendo mesmo necessário remoção de umidade após digestão, uma vez que as cavas estão hoje cheias de água, e podem funcionar como lagoas de acumulação e adensamento do lodo.

Estas lagoas, em número de três, são interligadas, tendo cerca de 60 ha e profundidades de 25 a 30 m. Uma avaliação preliminar de sua capacidade retentora leva a admitir que o lodo digerido produzido nas duas estações pode ser lançado em qualquer delas por um período de pelo menos 10 anos.

Desta forma, o bombeamento do lodo de ABC para ser tratado, da forma como foi descrito, na área da estação de Barueri, e seu lançamento final nas lagoas próximas, pareceu a solução mais conveniente.

## 8. CRITÉRIOS PARA CONTROLE E OPERAÇÃO

O tratamento de esgotos do ponto de vista da engenharia de processos industriais é encarado como um pro-

cesso industrial e, como tal, torna-se imperativo que sua operação seja econômica e eficiente.

Com esse enfoque, em boa parte das modernas estações de tratamento de esgotos são implantados equipamentos com alto grau de automação. Assim, vem sendo cada vez mais considerada a adoção de sistemas de aquisição e processamento de dados por meio de computadores orientados para controle de processos industriais.

Na monitoração de processos os dados processados originam a impressão de valores fora de programa, avisos de manutenção e alarmes de falhas de operação. Já no controle de processos os dados são coletados e processados de modo a controlar de forma automática, em função das correlações lógicas e aritméticas entre eles, os vários parâmetros envolvidos no processo.

O controle é nestes casos exercido pelo comando em tempo real dos equipamentos da estação.

Nas estações de São Paulo podem-se identificar duas macrotarefas que para suas realizações exigem duas formas de operação bem distintas, a saber:

Monitoração e controle do processo de tratamento de esgoto.

Monitoração e controle dos equipamentos de transformação e distribuição de energia elétrica.

O modelo operacional previsto para monitoração e controle do processo de tratamento de esgotos prevê a divisão da estação em 5 áreas físicas de controle (mostradas na Ilustração 8.1):

Área da elevatória final, gradeamento e caixas de areia.

Área dos decantadores primários e tanques de aeração.

Área dos decantadores secundários.

Área dos flotores, adensadores por gravidade e digestores.

Área dos equipamentos monitorados no edifício dos compressores.

Em cada uma dessas áreas, em local adequado, haverá uma sala de controle, de onde serão comandados os equipamentos existentes naquela área e para onde será encaminhada a sinalização de operação da mesma área.

Assim, os sinais provenientes da instrumentação da estação, serão agrupados e encaminhados às salas de controle das áreas às quais os mesmos correspondem.

O comando dos equipamentos envolvidos no processo, será também realizado a partir dessas salas de controle.

A unidade de monitoração e controle, localizada no edifício da administração, receberá das salas de controle parte dos sinais provenientes da instrumentação, permitindo assim a monitoração e o registro dos parâmetros mais importantes do processo.

O operador da unidade de monitoração e controle no edifício da administração, terá condições de controlar através de comunicação direta telefônica, os vários operadores das salas de controle da ETE.

Assim, o comando das operações será local, o que obriga necessariamente um acompanhamento "de perto" por parte dos operadores, mas existirá sempre um controle central de todo o sistema.

Os parâmetros a serem medidos diretamente por instrumentos, transmitidos, e/ou registrados são:

a vazão do esgoto tratado, por meio de medidores tipo Venturi localizados entre as caixas de areia e os decantadores primários;

a vazão do lodo, por meio de medidores tipo Venturi junto às elevatórias de lodo primário, ativado, adensado, e digerido;

a vazão do ar comprimido, por meio de medidores tipo Venturi, localizados nas canalizações alimentadoras de cada câmara dos tanques de aeração e das caixas de areia;

a temperatura do esgoto afluente à estação e no tanque de aeração; do lodo em digestão; e do ar na entrada e na saída dos compressores;

o pH do esgoto afluente à estação e efluente dos decantadores primários; do lodo em digestão;

a concentração de oxigênio dissolvido nas câmaras de aeração;

a pressão nos compressores.

Um laboratório completo acompanhará o tratamento, e fornecerá indicações para modificações operativas, fornecendo regularmente as concentrações de sólidos, DBO, DQO, substâncias eventualmente tóxicas ou inibidoras do tratamento biológico, nitrogênio, fósforo, acidez, alcalinidade, óleos e graxas e microorganismos.

Espera-se, com a implantação de um controle e operação bem planejados obter os resultados favoráveis que estações deste nível e qualidade podem fornecer.

